

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

# **Návrh laboratorní úlohy pro paralelně probíhající test výrobků**

## **Design of Laboratory Experiment for Demonstration of Parallel Test of Industrial Product**

## **Zadání bakalářské práce**

Student: **Jan Jašek**

Studijní program: **B2649 Elektrotechnika**

Studijní obor: **2612R041 Řídicí a informační systémy**

Téma: **Návrh laboratorní úlohy pro paralelně probíhající test výrobků**  
**Design of Laboratory Experiment for Demonstration of Parallel Test**  
**of Industrial Product**

Jazyk vypracování: **čeština**

### **Zásady pro vypracování:**

V oblasti testování průmyslových výrobků ve výrobě je velmi důležitý čas vykonání testu. V praxi existuje řada omezení, která definují nejkratší možný čas vykonání testů, například z důvodu, že stimulační měřicí technika potřebuje určitý čas ke změně svých parametrů během testu. Nicméně za jistých okolností existují možnosti jak test pomocí paralelizace a zřetězení urychlit.

Náplní práce je vytvoření laboratorní úlohy, na které bude možné demonstrovat paralelně běžící testy, což přinese zkrácení doby testu na jeden výrobek.

1. Seznámení se s metodami, které umožní paralelizaci testů.
2. Seznámení se s variantami tzv. přepínačů (switch), jejich HW topologií a metodami SW ovládání.
3. Návrh a realizace elektronického výrobku vhodného pro paralelní testování.
4. Návrh a realizace HW přepínače a SW pro jeho ovládání.
5. Návrh a implementace SW pro paralelně probíhající test výrobků.
6. Ověření funkce, popis dosažených výsledků a celkové zhodnocení výsledků práce.

### **Seznam doporučené odborné literatury:**

- [1] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. 1. vyd. Ilustrace Viktorie Vlachová. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 247 s. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [2] BRESS, Thomas J. *Effective labview programming*. 1st ed. Allendale: NTS Press, 2013, 701 s. ISBN 19-348-9108-8.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Bilík, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



A handwritten signature in blue ink, consisting of a large loop followed by a horizontal line and another loop.

---

doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.  
*vedoucí katedry*

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large 'P' followed by a horizontal line and a small flourish.

---

prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
*děkan fakulty*

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární  
prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 30. dubna 2019

.....  




Rád bych na tomto místě poděkoval doc. Ing. Petru Bilíkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a cenné rady při vytváření této bakalářské práce. Taktéž bych rád poděkoval své rodině za podporu během celého studia.

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je návrh laboratorní úlohy pro paralelně probíhající test výrobků. Úvodní část této práce je věnována možnostem zvýšení časové efektivity testování a snížení finančních nákladů na testery použitím programovatelných HW přepínačů. V praktické části této práce je představen návrh a realizace dvou přípravků. Prvním z přípravků je deska plošných spojů (DPS), na které je vytvořen releový multiplexerový přepínač, který slouží k přepínání měřících přístrojů mezi testovanými moduly v průběhu testování. Tím je docíleno snížení počtu potřebných měřících přístrojů pro tester. Přepínač je pro tuto práci navržen a realizován namísto pořízení komerčního z finančních důvodů. Druhým přípravkem je DPS, která obsahuje 4 totožné moduly, kde každý z modulů obsahuje 4 odlišné testované jednotky, které nahrazují průmyslový výrobek, který je testován. SW částí této práce jsou dvě aplikace naprogramované v grafickém programovacím prostředí LabVIEW. První aplikací je možné ovládat samotný multiplexerový přepínač a druhá aplikace je naprogramována k testování testovaných modulů s možností volby mezi paralelním a neparalelním průběhem testů pro možnost časového srovnání.

**Klíčová slova:** Virtuální instrumentace, LabVIEW, přepínač, DPS, paralelní testování

## **Abstract**

The main goal of this thesis is to design laboratory experiment which demonstrates parallelism of industrial product testing. The first part of this thesis is focused on possibilities of improving time effectivity of testing and also reducing the cost of testers using hardware switches. The practical part of this thesis introduces design and realization of two devices. The first device is Printed Circuit Board (PCB), which contains multiplexer switch that is used for switching measuring instruments between tested modules during testing, what reduces the number of measuring instruments on tester. The switch is designed and constructed by own design because of financial reasons. The second device is Printed Circuit Board, which contains 4 identical tested modules. Each module contains 4 different units which are tested. Software part of this thesis contains two applications which are implemented in graphical programming language LabVIEW. One of these applications is used for control switch and the second is implemented for tested module testing with optional parallel or nonparallel testing for comparison time claims.

**Key Words:** Virtual instrumentation, LabVIEW, switch, PCB, parallel testing

# Obsah

<b>Seznam použitých zkratk a symbolů</b>	<b>9</b>
<b>Seznam obrázků</b>	<b>10</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>13</b>
<b>1 Úvod</b>	<b>14</b>
<b>2 Přepínače, možnosti přepínacích prvků a přepínací topologie</b>	<b>15</b>
2.1 Topologie přepínačů . . . . .	15
2.1.1 Topologie přepínače NI PXI-2503 . . . . .	17
2.1.2 Maticové přepínače . . . . .	19
2.1.3 Multiplexerové přepínače . . . . .	20
2.2 Přepínací prvky . . . . .	21
2.2.1 Základní možnosti přepínání . . . . .	21
2.2.2 Typy přepínačů . . . . .	22
2.2.2.1 Elektromechanické relé . . . . .	23
2.2.2.2 Jazyčková relé . . . . .	25
2.2.2.3 Solid state relé . . . . .	26
2.2.2.4 FET přepínače . . . . .	26
<b>3 Průmyslový tester realizovaný na HW National Instruments PXI</b>	<b>28</b>
3.1 PXI šasi . . . . .	28
3.2 PXI kontroléry . . . . .	29
3.2.1 PXI Embedded Controller . . . . .	29
3.2.2 PXI Remote Control Module . . . . .	29
3.3 PXI moduly . . . . .	30
3.4 Příklad demonstračního testeru na bázi PXI . . . . .	30
3.5 Software pro ovládání průmyslového testeru . . . . .	31
3.5.1 TestStand . . . . .	31
3.5.2 NI Switch Executive . . . . .	31
3.5.3 Knihovna NI SWITCH . . . . .	34
<b>4 Princip funkce testeru</b>	<b>36</b>
<b>5 Praktická realizace přepínače</b>	<b>41</b>
5.1 Elektronické součástky přepínače . . . . .	42
5.1.1 Posuvný registr . . . . .	42
5.1.2 Tranzistorové pole . . . . .	44

5.1.3	Relé . . . . .	46
5.1.4	Lokální blokovací kondenzátory . . . . .	47
5.2	Návrh elektrického zapojení přepínače . . . . .	47
5.3	Návrh a výroba DPS přepínače . . . . .	48
5.4	Funkce přepínače . . . . .	50
<b>6</b>	<b>Testované moduly</b>	<b>51</b>
6.1	LED . . . . .	52
6.2	Filtr typu dolní propust . . . . .	52
6.3	BERT . . . . .	53
6.4	Převodník teploty na frekvenci . . . . .	53
<b>7</b>	<b>LabVIEW</b>	<b>55</b>
7.1	Programování . . . . .	55
7.2	Rozdělení SW části . . . . .	56
7.3	Program pro ovládání přepínače . . . . .	56
7.4	Ovládání indikačních LED . . . . .	58
7.5	Programování jednotlivých testů a GUI . . . . .	58
7.5.1	Test LED + filtr typu dolní propust . . . . .	60
7.5.2	Test BERT . . . . .	62
7.5.3	Test převodníku teploty na frekvenci . . . . .	63
<b>8</b>	<b>Závěr</b>	<b>64</b>
	<b>Literatura</b>	<b>66</b>
	<b>Přílohy</b>	<b>70</b>
<b>A</b>	<b>Obrazové přílohy</b>	<b>70</b>
<b>B</b>	<b>Tabulky</b>	<b>74</b>
<b>C</b>	<b>Přílohy na DVD</b>	<b>77</b>

## Seznam použitých zkratk a symbolů

AC	– Alternating Current
AI	– Analog Input
AO	– Analog Output
BERT	– Bit Error Rate Test
CMOS	– Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
DC	– Direct Current
DI	– Digital Input
DIO	– Digital Input Output
DO	– Digital Output
DPDT	– Double-Pole, Double-Throw
DPS	– Deska plošných spojů
FET	– Field-Effect Transistor
GUI	– Graphical User Interface
KO	– Klopný obvod
NC	– Normally Close
NI	– National Instruments
NO	– Normally Open
OE	– Output Enable
PISO	– Paralel In - Serial Out
PCB	– Printed Circuit Boards
PXI	– PCI EXtensions for Instrumentation
RCLK	– Storage Register Clock
SER	– Serial Input
SIPO	– Serial In - Paralel Out
SPDT	– Single-Pole, Double-Throw
SPST	– Single-Pole, Single-Throw
SRCLK	– Shift Register Clock
SRCLR	– Shift Register Clear Input
SSR	– Solid State Relay
UUT	– Unit Under Test
VI	– Virtual Instrument

## Seznam obrázků

1	Využití přepínače pro přepínání zdroje signálu nebo měřicího přístroje mezi více měřeními nebo napájenými uzly . . . . .	15
2	1-Wire režim [1] . . . . .	15
3	2-Wire režim [1] . . . . .	16
4	4-Wire režim [1] . . . . .	16
5	1-wire 48x1 multiplexer . . . . .	17
6	2-wire Dual 12x1 multiplexer . . . . .	17
7	2-wire 24x1 multiplexer . . . . .	18
8	2-wire Quad 6x1 multiplexer . . . . .	18
9	2-wire 4x6 matrix . . . . .	18
10	4-wire 12x1 multiplexer . . . . .	19
11	Schéma vnitřní logiky přepínače NI PXI-2532B [3] . . . . .	19
12	Schéma vnitřní logiky přepínače NI PXI-2503. Možné topologie viz. 2.1.1 [5] . . .	20
13	Jednopolové přepínače SPST [6] . . . . .	21
14	Jednopolové přepínače SPDT [6] . . . . .	22
15	Způsoby přepínání přepínače SPDT [6] . . . . .	22
16	DPDT přepínač [6] . . . . .	22
17	Elektromechanické relé (vlevo rozepnuté, vpravo sepnuté) [7] . . . . .	23
18	Latching relé s jednou a dvěma cívkami [6] . . . . .	24
19	Non-latching relé [6] . . . . .	24
20	Jazyčkové relé [6] . . . . .	25
21	Solid state relé [6] . . . . .	26
22	FET přepínač [6] . . . . .	27
23	Blokové schéma PXI [8] . . . . .	28
24	Šasi PXIe-1085 (vpravo), PXIe-1071 (vlevo) [9] . . . . .	29
25	PXI Controllers [10] . . . . .	29
26	PXI Remote Control Modules [12] . . . . .	30
27	Profesionální demonstrační tester na bázi PXI . . . . .	30
28	Testované moduly demonstračního testeru NI . . . . .	31
29	Software TestStand [14] . . . . .	32
30	Software NI Switch Executive (Ve sloupci vlevo seznam šestnácti vytvořených skupin cest. Vpravo konkrétní zobrazení jedné skupiny cest) [15] . . . . .	33
31	Zvolení zdrojového souboru se skupinami cest a výběr konkrétní skupiny cest v programu TestStand [16] . . . . .	33
32	Základní řetězec pro práci s daty z NI Switch Executive v LabVIEW [18] . . . .	33
33	Jednoduchý program pro práci s přepínačem vytvořený pomocí VIs z knihovny NI SWITCH . . . . .	34

34	Front Panel VI pro ovládání dvou spojení přepínače . . . . .	34
35	Front Panel VI pro sepnutí konkrétních spojení přepínače pomocí konfiguračního listu . . . . .	35
36	Front Panel VI pro sepnutí konkrétního relé přepínače . . . . .	35
37	popsaný testovaný modul . . . . .	36
38	Jednotlivé testované jednotky a jejich přepínání . . . . .	37
39	Připojení měřících přístrojů k testovaným jednotkám v první testovací sekvenci .	38
40	Připojení měřících přístrojů k testovaným jednotkám ve druhé testovací sekvenci	39
41	Připojení měřících přístrojů k testovaným jednotkám ve třetí testovací sekvenci .	39
42	Připojení měřících přístrojů k testovaným jednotkám ve čtvrté testovací sekvenci	40
43	Grafické znázornění průběhu testovacích sekvencí . . . . .	40
44	Logika přepínače . . . . .	41
45	Posuvný registr SN74HC595N [20] . . . . .	43
46	Časové průběhy posuvného registru . . . . .	44
47	Schéma darlingtonového zapojení v poli ULN2803A [24] . . . . .	45
48	Vnitřní zapojení a rozložení pinů v poli ULN2803A [24] . . . . .	45
49	Rozměry relé COSMO RELES1A 050 000 [25] . . . . .	46
50	Vnitřní zapojení relé COSMO RELES1A 050 000 [25] . . . . .	46
51	Testování návrhu přepínače na nepájivém poli . . . . .	48
52	Osazená DPS přepínače 100x120mm . . . . .	49
53	Graf pro výpočet proudové zatížitelnosti vodiče [27] . . . . .	50
54	Osazená DPS 4xUUT 100x106mm . . . . .	51
55	Zapojení pro měření LED . . . . .	52
56	Zapojení pro měření dolní propusti . . . . .	52
57	Zapojení pro test BERT . . . . .	53
58	Zapojení převodníku t/f . . . . .	54
59	Blokové schéma propojení jednotlivých částí testeru [28][37] . . . . .	56
60	Propojení DAQ karty s posuvnými registry . . . . .	57
61	Program pro ovládání přepínače . . . . .	57
62	Front Panel programu pro ovládání přepínače . . . . .	57
63	Front Panel testovací aplikace pro paralelní testování . . . . .	59
64	Front Panel testovací aplikace pro neparalelní testování . . . . .	59
65	Chyba přístupu k AO . . . . .	60
66	Frekvence pro testování dolní propusti a mezní limity Urms . . . . .	61
67	Hodnoty napětí pro test LED a mezní limity proudu . . . . .	61
68	Grafický výstup testu LED . . . . .	62
69	Grafický výstup testu filtru . . . . .	62
70	Testovací sekvence bitů pro BERT . . . . .	62
71	Grafický výstup testu BERT . . . . .	62

72	Inicializační soubor pro test převodníku t/f . . . . .	63
73	Grafický výstup testu převodníku t/f . . . . .	63
I	Schéma zapojení přepínače . . . . .	71
II	Schéma zapojení 4xUUT . . . . .	72
III	Konektor 2x20 pinů pro propojení DPS přepínače a DPS 4xUUT. Pohled zepředu	73



## Seznam tabulek

1	Parametry prodáváných přepínačů se základními HW variantami přepínačů [2] [4]	23
2	Základní parametry COSMO RELES1A 050 000 [25] . . . . .	47
3	Parametry LED . . . . .	52
I	Součástky přepínač . . . . .	75
II	Komponenty pro spojení desky přepínače a desky 4xUUT . . . . .	75
III	Součástky 4xUUT . . . . .	76

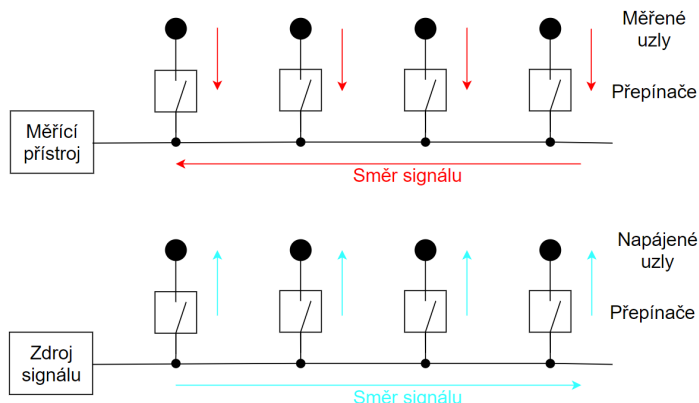
# 1 Úvod

Cílem této práce je navrhnout a zkonstruovat zařízení pro demonstraci možností zvýšení efektivity testování elektronických výrobků a využívat toto zařízení pro výuku virtuální instrumentace. V současnosti, kdy je lidstvo obklopeno elektronikou ze všech stran jsou na výrobce všech elektronických součástek, desek plošných spojů a následně na výrobce kompletních výrobků kladeny vysoké nároky na kvalitu výrobků, co nejmenší počet vadných kusů, ale také na maximalizaci produktivity. Ačkoli je dnes kvalita výroby elektronických součástek, desek plošných spojů a jejich osazování na velmi vysoké úrovni tak si výrobce nemůže dovolit bez kontroly vypustit svůj výrobek k zákazníkovi jako funkční, aniž by ho otestoval. A zde začíná podstata této bakalářské práce. Typů testování elektronických výrobků a zařízení je celá řada (elektrické, EMC, atd.). Tato bakalářská práce je zaměřena na testování funkčnosti jednoduchých elektronických součástek nebo zapojení a hlavně na možnost zvýšení časové efektivity testování za použití elektronického multiplexerového přepínače, pomocí kterého jsou v průběhu testování měřicí přístroje automaticky přepínány mezi testovanými výrobky, za účelem maximální časové úspory a úspory potřebných přístrojů.

V teoretické části této práce se zabývám HW možnostmi přepínání vzhledem k použití daného zařízení. Konkrétně zdali má přepínač sloužit k přepínání vysokých proudů, nebo je požadována co nejvyšší rychlost, se kterou musí být přepínač schopen měnit své stavy a spousta dalších parametrů, případně kompromis těchto požadavků. Dále se zde zabývám topologiemi přepínání, energetickou a rozměrovou náročností. Zároveň se zde zabývám demonstračním HW panelem, který je osazen čtyřmi totožnými moduly, které slouží jako testované výrobky, přičemž každý modul obsahuje 4 testované jednotky. Tyto jednotky jsou testovány za pomoci pouze 4 měřících přístrojů, které jsou přepínány mezi jednotlivými testovanými moduly pomocí přepínače. Praktická část obsahuje samotný návrh a konstrukci daného zařízení. Návrh schémat přepínače a testovaných modulů, výběr vyhovujících součástek, návrh DPS, jejich výrobu, osazení a následné testování funkčnosti celého zařízení. Pro popsání testovacího zařízení je v LabVIEW implementován SW pro ovládání přepínače a testování 4 testovaných jednotek.

## 2 Přepínače, možnosti přepínacích prvků a přepínací topologie

Přepínač je programovatelné zařízení, které umožňuje v testovacích zařízeních dle potřeb řídicího software připojovat například jediný měřicí přístroj k řadě měřených uzlů v testovaném elektronickém zapojení (N vstupů na 1 výstup) nebo jeden zdroj signálu k řadě napájených uzlů (1 vstup na N výstupů). Zapojení je totožné, pouze se mění směr toku signálu (Obrázek 1).

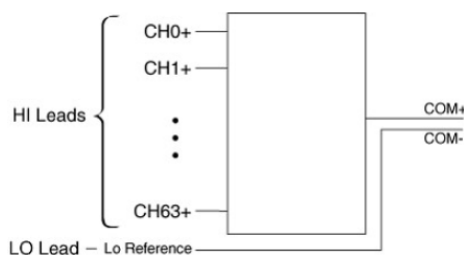


Obrázek 1: Využití přepínače pro přepínání zdroje signálu nebo měřicího přístroje mezi více měřenými nebo napájenými uzly

Přepínače se podle způsobu použití dělí v několika ohledech. V základním topologickém rozdělení se přepínače dělí na maticové nebo multiplexerové. Dále se dělí dle požadavků na parametry přepínání. Mezi hlavní parametry patří rychlost přepínání a maximální spínané proudy.

### 2.1 Topologie přepínačů

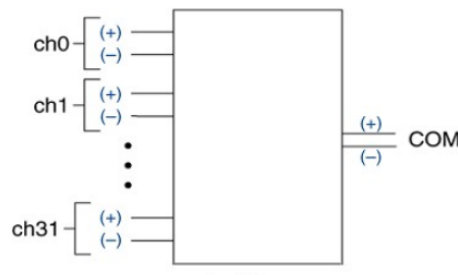
V rozdělení podle topologií jsou zde dvě zásadní kategorie, které souvisí s touto prací a to jsou přepínače maticové a multiplexerové viz. kapitola 2.1.2 a 2.1.3. Dále je možné volit mezi režimy 1-Wire, 2-Wire, 4-Wire. Rozdíl v těchto režimech je pouze počet vodičů, které se přepnou současně. V 1-Wire režimu (Obrázek 2) je možno připojit kterýkoliv z kanálů CH0+ až CH63+ k výstupu COM+. Na výstupu COM+ může být připojen například voltmetr, ke kterému je tedy možno za pomoci programovatelného přepínače připojit konkrétní kanál na kterém má probíhat měření. Měření je vztaženo ke společnému zápornému pólu všech kanálů.



Obrázek 2: 1-Wire režim [1]

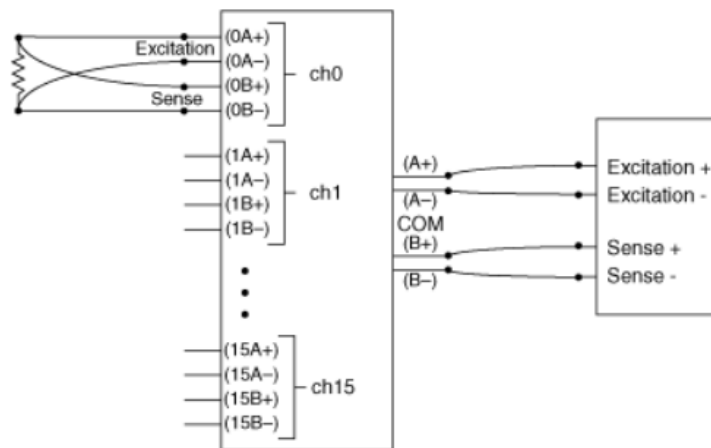
V případech, kdy je potřeba současně přepínat ze zdroje signálu více než jeden signál lze využít 2-Wire nebo 4-Wire režimu. Ne všechny běžně prodávané přepínače nabízí vždy na výběr všechny tyto možnosti. Maticové přepínače se vyrábí pouze ve variantách 1-Wire, 2-Wire a nebo s oběma variantami, kde je možné si režim zvolit. Žádný maticový přepínač nenabízí 4-Wire režim. U multiplexerových přepínačů je možné koupit přepínač s režimem 1-Wire, 2-Wire, s možností volit mezi režimy 1-Wire, 2-Wire nebo přepínač s možností volit mezi režimy 1-Wire, 2-Wire a 4-Wire.

V 2-Wire režimu (Obrázek 3) jsou připojeny + i - svorky zdroje signálu ke svorkám výstupu. Výhodou dvouvodičového spínání je velké potlačení šumu. Toto zapojení se používá obvykle pro diferenciální měření, pro měření nízkého napětí, vysokých proudů a odporů v rozsahu  $100\Omega$ - $10\text{ M}\Omega$ .



Obrázek 3: 2-Wire režim [1]

4-Wire režim (Obrázek 4) se používá obvykle pro čtyřvodičové měření odporu, kde jsou 2 vodiče (excitation) použity pro proudové buzení a další dva vodiče (sense) slouží k měření úbytku napětí na rezistoru.



Obrázek 4: 4-Wire režim [1]

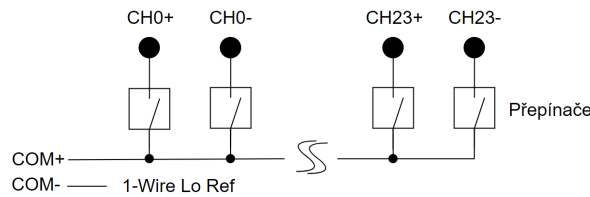
Dalšími parametry jsou počet bank a kanálů. Počet kanálů je uveden pouze u multiplexerových přepínačů a udává na jaký maximální počet kanálů může být jeden signál přepnut. Každý přepínač má určitý počet bank přepínacích prvků (1-16), které slouží k modifikaci topologie.

Jako příklad je možno uvést multiplexerový přepínač NI PXI-2503. Tento přepínač může pracovat v režimech 1-Wire, 2-Wire a 4-Wire. Všech 48 relé, kterými je přepínač osazen, je možno rozdělit do 1, 2 nebo 4 bank a počet kanálů u tohoto přepínače může být 6, 12, 24, nebo 48 [4]. Výsledné realizovatelné topologie jsou určitým kompromisem/kombinací všech těchto parametrů.

### 2.1.1 Topologie přepínače NI PXI-2503

- 1-wire 48x1 multiplexer

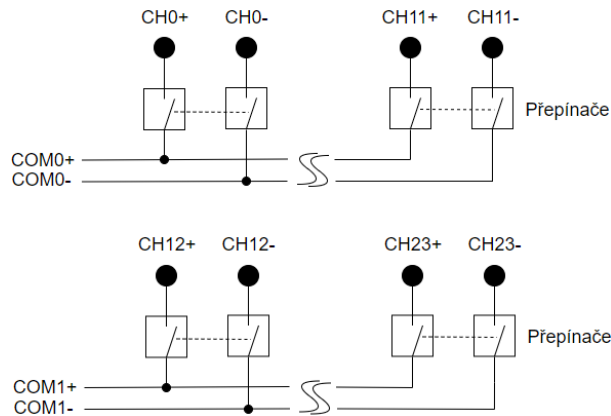
Kombinace 1-Wire, 1 skupina, 48 kanálů. V této topologii je možné přepínat 1 vodič na 48 jedno-vodičových výstupů (Obrázek 5).



Obrázek 5: 1-wire 48x1 multiplexer

- 2-wire Dual 12x1 multiplexer

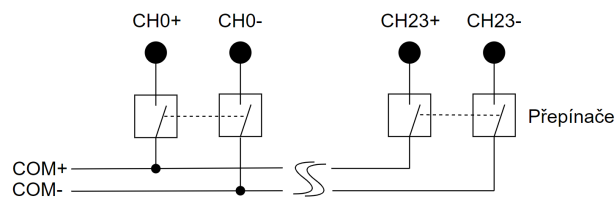
Kombinace 2-Wire, 2 skupiny, 12 kanálů. V této topologii je možné přepínat 2x 2 vodiče (tvořící 1 kanál) na 12 dvou-vodičových výstupů (Obrázek 6).



Obrázek 6: 2-wire Dual 12x1 multiplexer

- 2-wire 24x1 multiplexer

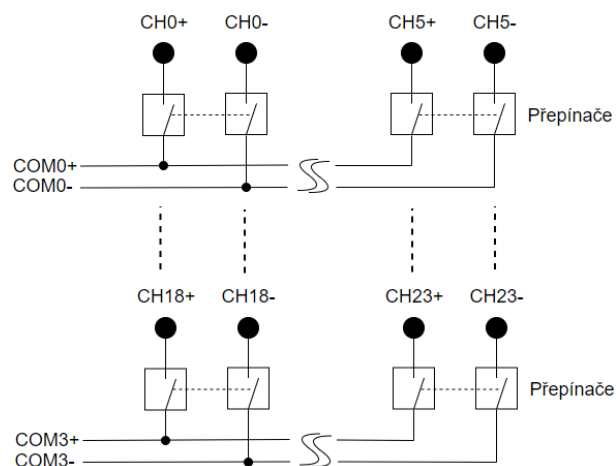
Kombinace 2-Wire, 1 skupina, 24 kanálů. V této topologii je možné přepínat 2 vodiče (tvořící 1 kanál) na 24 dvou-vodičových výstupů (Obrázek 7).



Obrázek 7: 2-wire 24x1 multiplexer

- 2-wire Quad 6x1 multiplexer

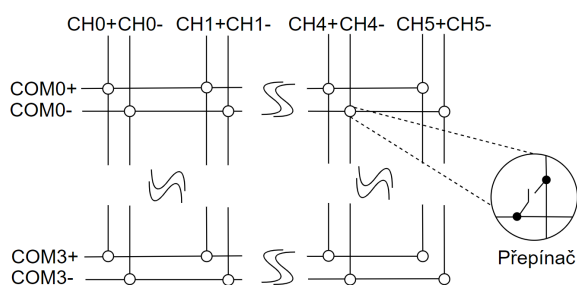
Kombinace 2-Wire, 4 skupiny a 6 kanálů. V této topologii je možné přepínat 4x 2 vodiče (tvořící 1 kanál) na 6 dvou-vodičových výstupů (Obrázek 8).



Obrázek 8: 2-wire Quad 6x1 multiplexer

- 2-wire 4x6 matrix

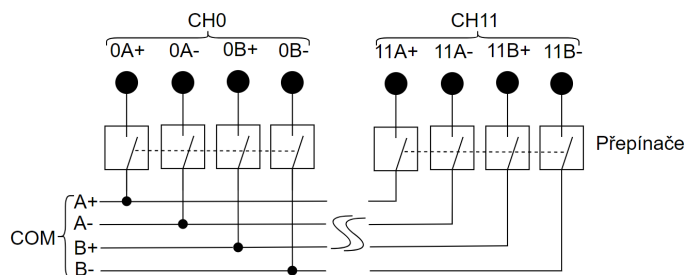
Kombinace 2-Wire s 4x6 maticí. V této topologii je možné přepínat libovolně v matici 4x6 vždy 2 vodiče (tvořící 1 kanál) společně (Obrázek 9).



Obrázek 9: 2-wire 4x6 matrix

- 4-wire 12x1 multiplexer

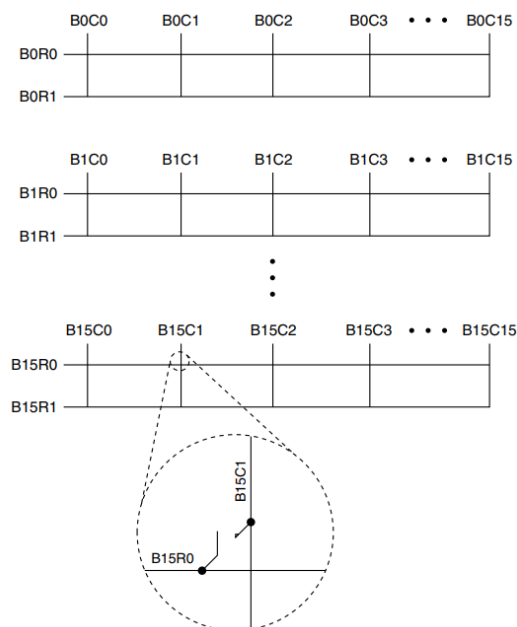
Kombinace 4-Wire, 1 skupina, 12 kanálů. V této topologii je možné přepínat 1x 4 vodiče (tvořící 1 kanál) na 12 čtyř-vodičových výstupů (Obrázek 10).



Obrázek 10: 4-wire 12x1 multiplexer

### 2.1.2 Maticové přepínače

Maticové přepínače (matrix switch) jsou takové přepínače, jejichž vnitřní topologie jsou řádkové a sloupcové (Obrázek 11). Tyto přepínače poskytují maximální flexibilitu v přepínání a umožňují připojit jakýkoliv řádek k jakémukoli sloupci. Průmyslově vyráběné a prodávané přepínače od firmy NI se vyrábí ve spoustě kombinací s počtem řádků od 2 do 16 a počtem sloupců od 16 do 128. Z těchto údajů by mohlo vyplynout, že je možno pořídit přepínač až s 2048 uzly (kontakty). Nicméně v nabídce jsou konkrétní modely a kombinace. Největší přepínač nabízený firmou NI obsahuje 544 uzlů (kontaktů). Rozsah použití těchto přepínačů je ještě navýšen režimem ve kterém může být přepínač používán. Tento režim určuje počet vodičů, které budou přepnuty současně. Maticové přepínače se vyrábí s režimy 1-Wire, 2-Wire, nebo s možností volby. Přepínací prvky jsou dále děleny do bank. Toto dělení se používá u přepínačů, které mohou být použity jak v maticové tak v multiplexerové topologii. K datu 13.10.2018 se ceny maticových přepínačů pohybují od 67 800 do 178 500Kč. [2]



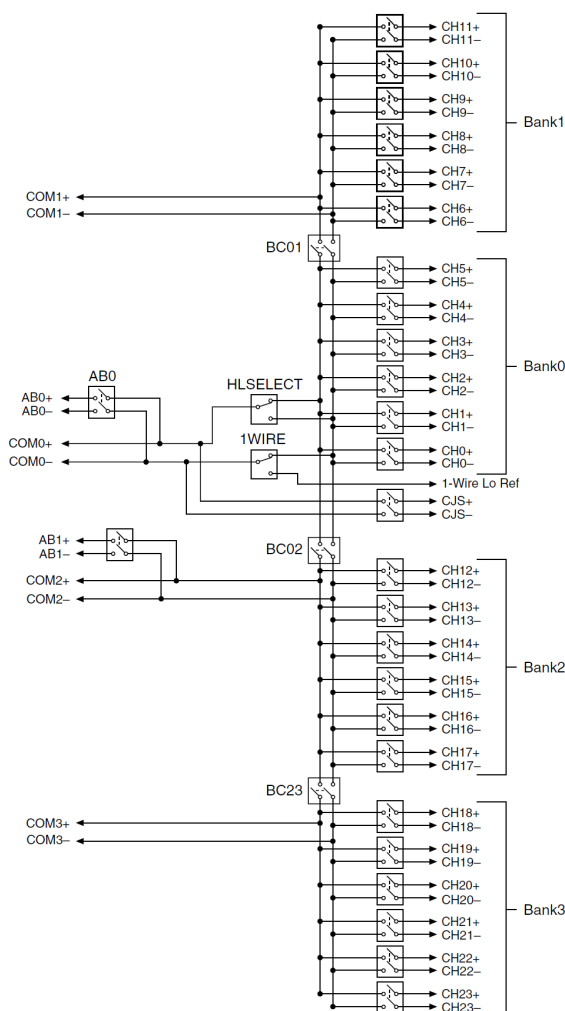
Obrázek 11: Schéma vnitřní logiky přepínače NI PXI-2532B [3]

### 2.1.3 Multiplexerové přepínače

Vnitřní uspořádání multiplexerových přepínačů je vhodnější pro aplikace, ve kterých je potřeba používat velký počet kanálů, ke kterým je třeba se připojovat pro měření nebo vysílání signálů na různých místech testovaného zařízení (Obrázek 12). V současnosti nabízené multiplexerové přepínače obsahují 1-16 bank přepínacích prvků, které je možné přepínat až na 196 jednotlivých kanálů. Nicméně stejně jako u maticových přepínačů to neznamená, že je možno připojit 16 x 196, ale například:

- Jednovodičově přepínat jeden vstup na 48 výstupů.
- Dvouvodičově přepínat jeden vstup na 24 výstupů.
- Dvouvodičově přepínat dva vstupy na 12 výstupů.

K datu 13.10.2018 se ceny multiplexerových přepínačů pohybují od 25 700 do 61 900 Kč. [4]



Obrázek 12: Schéma vnitřní logiky přepínače NI PXI-2503. Možné topologie viz. 2.1.1 [5]



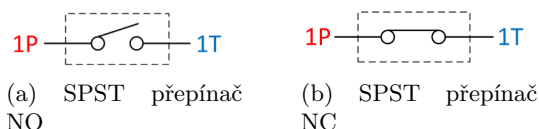
## 2.2 Přepínací prvky

Přepínací prvky jsou prvky sloužící k vytváření spojení a přerušení elektrických obvodů. Dělí se podle jejich logiky přepínání, možností přepínání, konfigurací a podle samotné hardware realizace.

### 2.2.1 Základní možnosti přepínání

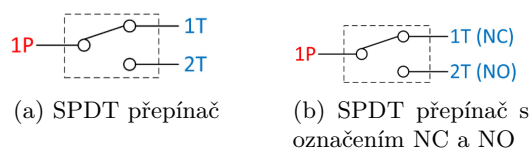
Přepínací prvky slouží k vytváření spojení a přerušení elektrických obvodů. Přepínač má vždy nejméně dvě svorky. Jedna která slouží pro vstup signálu a druhá, která slouží pro jeho výstup. Počet pólů (Poles) určuje počet vstupních svorek. Což definuje kolik samostatných obvodů může ovládat přepínač. Každému pólu může náležet jeden nebo více výstupů (Throws), ke kterým může být připojen.

Nejjednodušším přepínačem je jednopólový spínač Single-Pole, Single-Throw (SPST). Tento přepínač může řídit jen jedno spojení a může být připojen pouze k jednomu výstupu. Disponuje dvěma stavy a to sepnuto nebo rozepnuto. Jedná se o nejběžnější formu přepínače, který zůstává v uzavřeném stavu pouze po dobu, kdy je sepnut. Jako příklad můžeme uvést například obyčejné tlačítko nebo jazýčkový kontakt, který se otevírá nebo zavírá za přítomnosti magnetického pole. Tento přepínač může být vytvořen ve formě Normally Open (NO) (Obrázek 13a) nebo Normally Close (NC) (Obrázek 13b). V případě přepínače NO je v základním stavu kontakt rozepnut a je tedy přerušen elektrický obvod. U NC je tomu přesně naopak a kontakt je v základním stavu sepnut. [6]

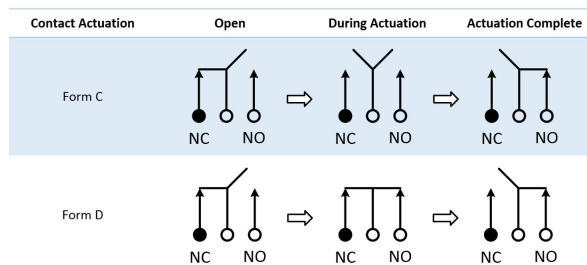


Obrázek 13: Jednopólové přepínače SPST [6]

Dalším typem přepínače může být Single-Pole, Double-Throw (SPDT) (Obrázek 14a). Tento přepínač může řídit pouze jedno spojení, ale může být připojen ke dvěma výstupům. Často se tento přepínač označuje jako přepínač A/B, protože nabízí možnost připojení k jednomu nebo druhému výstupu. Speciálním typem SPDT přepínače je takový, který kromě možnosti připojení k A nebo B nabízí i středovou polohu, která není připojená k žádnému výstupu. Stejně jako u přepínačů SPST i zde se zavádí označování výstupů, aby bylo nepochybné, který z kontaktů je NC a který NO (Obrázek 14b). Tento typ přepínačů má dva možné průběhy přepínání, které jsou označovány jako způsob přepínání C a způsob přepínání D (Obrázek 15). V případě s označením C se nejprve rozpojí aktuální spojení a až poté se připojí k novému výstupu. Tento způsob je také nazýván jako přepínání s pauzou. Druhý způsob přepínání se označuje písmenem D. V tomto případě se nejprve připojí nový výstup a až poté se rozpojí spojení, které trvalo do této chvíle. Tento způsob je označován také jako přepnutí před přerušením. [6]

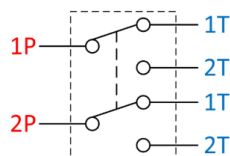


Obrázek 14: Jednopolové přepínače SPDT [6]



Obrázek 15: Způsoby přepínání přepínače SPDT [6]

Poslední ze základních typů přepínačů je Double-Pole, Double-Throw (DPDT) (Obrázek 16). U tohoto přepínače je již možno řídit 2 spojení, kde každé může být připojeno k dvěma výstupům. Tento přepínač však přepíná obě spojení současně. Nelze tedy přepínat každé zvlášť. Přepínač DPDT si můžeme představit jako dva přepínače SPDT v jedné elektronické součástce, které se přepínají současně. Jako u předchozích typů tak i zde se zavádí označování NC a NO a přepínač DPDT má tedy 2 kontakty NC a 2 kontakty NO. [6]



Obrázek 16: DPDT přepínač [6]

### 2.2.2 Typy přepínačů

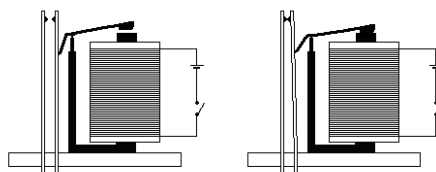
Kromě logiky a možností přepínání je nutné znát také základní HW varianty přepínačů a jejich vlastnosti. HW varianty všech přepínačů mají v zařízení totožnou funkci, ale jejich parametry se velmi výrazně liší a je tedy velmi důležité při jejich volbě zvážit pro jaké účely a použití bude konkrétní přepínač používán. Zdali je hlavním požadavkem vysoká rychlost přepínání, možnost spínání větších napětí (např. nad 100V), větších proudů (např. nad 1A) atd. Případně je požadována specifická kombinace těchto parametrů. Stále je však nutné mít na paměti, že se jedná o přepínače navržené a konstruované pro účely průmyslového testování a měření, nikoli pro přepínání velkých výkonů. Srovnání HW variant přepínačů v komerčně vyráběných a dostupných testovacích přepínačích viz. (Tabulka 1).

Tabulka 1: Parametry prodáváných přepínačů se základními HW variantami přepínačů [2] [4]

HW přepínače	I max [A]	U max [V]	Max. rychlost přepínání [počet cyklů/s]	Doba přepnutí [ms]	
				Typická	Maximální
Elektromechanické relé	1-12	60-300	65-1000	1	15,4
Jazyčkové relé	0,4-0,5	60-600	600-2000	0,25-0,4	0,81
Solid State relé	1	55	400	0,724	2,5
FET	0,003-0,1	10-12	15000-50 000	0,010	0,160

### 2.2.2.1 Elektromechanické relé

Elektromechanická relé jsou elektricky ovládané přepínače, které spojují části obvodů mechanicky. Jsou tvořena cívkou s jádrem z magneticky měkké oceli, pohyblivou kotvou a kontaktem (Obrázek 17). Po připojení cívky k elektrickému zdroji začne cívku procházet elektrický proud, vytvoří se v magnetickém obvodu magnetický tok, který přitáhne kotvu a ta otevře nebo zavře kontakt. Po odpojení elektrického zdroje se vrátí kotva a tedy i kontakt do původního klidového stavu. Velkou výhodou elektromechanických relé je možnost použití pro spínání nízkých i vyso-

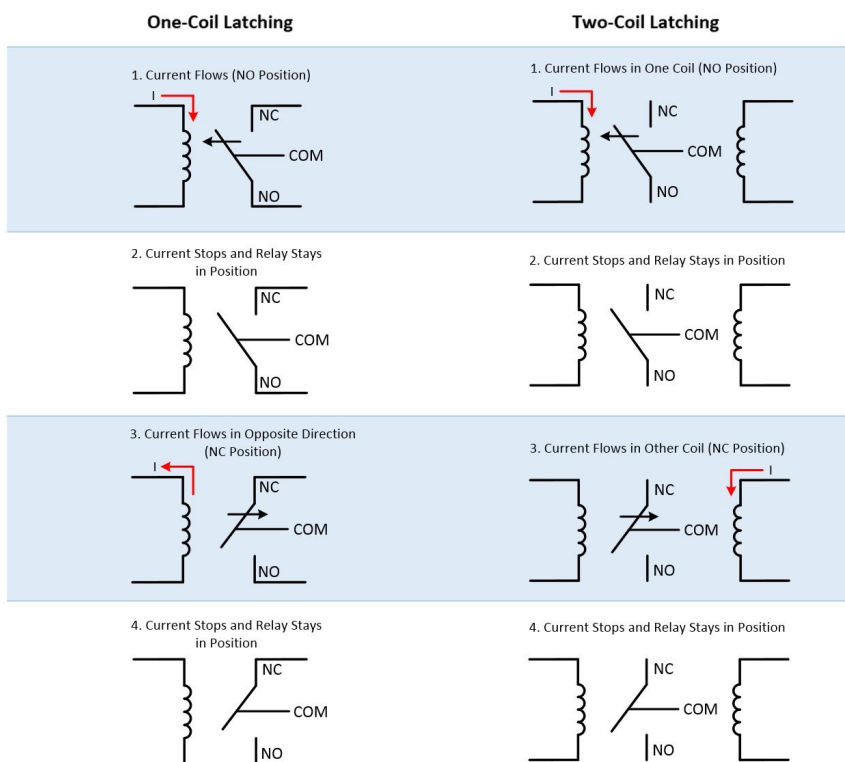


Obrázek 17: Elektromechanické relé (vlevo rozepnuté, vpravo sepnuté) [7]

kých napěťových signálů a stejně tak pro spínání nízkých i vysokých proudových signálů. Lze je použít jak pro spínání signálů DC tak pro AC s frekvencí v řádech GHz. Z tohoto důvodu lze nalézt elektromechanické relé téměř pro jakékoli požadavky co se charakteristiky signálu týče. Možnost použití pro vyšší proudy sebou však nese nároky na velikost kontaktů. Větší kontakty jsou schopny odolávat velkým neočekávaným nárazovým proudům, ale tato velká výhoda má i opačnou stránku, kterou je velikost celé součástky. Se spínáním pomocí mechanických částí přichází také výrazné omezení co se týče rychlosti. Elektromechanická relé jsou ve srovnání s ostatními typy velice pomalé a jejich přepnutí a ustálení se pohybuje v rozmezí 1 až 15,4ms. Tato rychlost může být pro určité aplikace nedostačující. Dále elektromechanická relé mají také z důvodu mechanického spínání obvykle kratší životnost než jiné typy. Elektromechanická relé se rozdělují na 2 typy. Latching a non-latching.

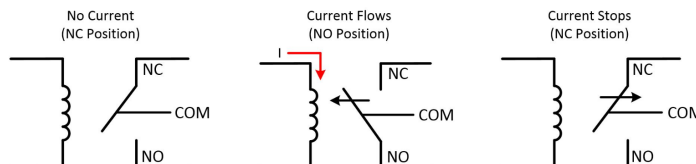
- Latching relé nemá definovanou žádnou výchozí pozici (Obrázek 18). Toto relé obsahuje permanentní magnety, které udržují poslední stav, ve kterém se relé ocitlo a to i po odpojení od zdroje. Z tohoto důvodu je tento typ relé vhodný do aplikací, kde jsme omezeni maximální spotřebou energie, protože pro jeho přepnutí stačí jen krátký impulz. Tento typ se vyrábí ve variantách s jednou nebo dvěma cívkami. V případě relé s jednou cívkou mění svůj stav dle

polarity impulzu. U relé se dvěma cívkami se ovládání provádí pomocí impulzů stejné polarity na různých vstupech.



Obrázek 18: Latching relé s jednou a dvěma cívkami [6]

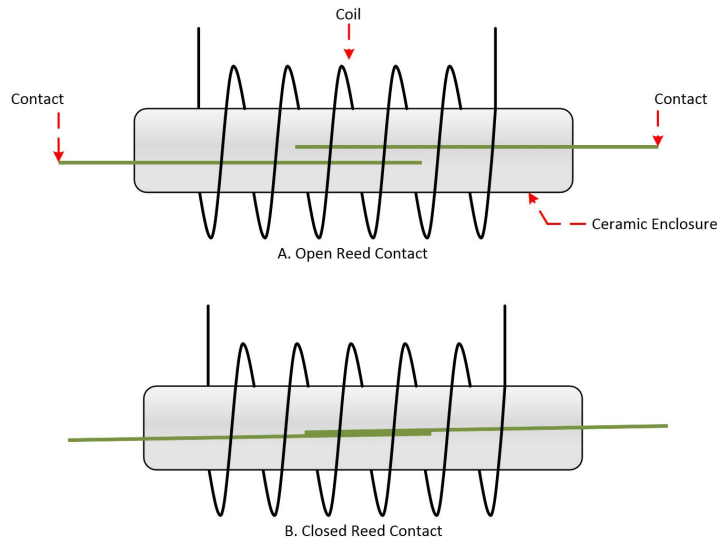
- Non latching relé má definovanou výchozí pozici (Obrázek 19). Výchozí pozice je definována pomocí pružiny nebo permanentního magnetu a relé změní svůj stav pouze při připojení ke zdroji, kdy cívkou protéká proud. Pokud cívkou proud neprotéká, relé je ve výchozí pozici NC, ve které je udržováno pomocí pružiny nebo permanentního magnetu. Po připojení cívky k elektrickému zdroji začne cívkou protékat elektrický proud, vytvoří se v magnetickém obvodu magnetický tok a je překonána síla pružiny nebo permanentního magnetu a sepne se kontakt. Kontakt se nachází ve stavu NO do doby, než je cívka odpojena od zdroje elektrické energie. Po odpojení cívky od zdroje se vrátí kontakt zpět do výchozí pozice definované pomocí pružiny nebo permanentního magnetu. Tento typ relé se používá převážně v řídicích aplikacích, kdy je požadováno aby se po odpojení od zdroje vrátil kontakt zpět do výchozí pozice. [6]



Obrázek 19: Non-latching relé [6]

### 2.2.2.2 Jazýčková relé

Jazýčková relé jsou typ relé, který k ovládání jednoho nebo více jazýčkových spínačů používají elektromagnety nebo cívky (Obrázek 20).

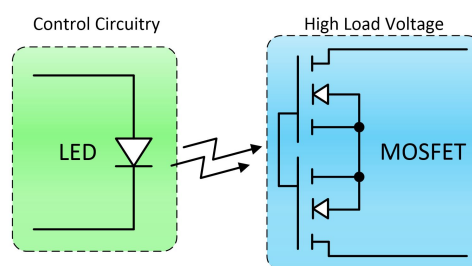


Obrázek 20: Jazýčkové relé [6]

Jazýčková relé jsou velice podobná elektromechanickým, protože mají fyzické kontakty, které mechanicky spojují nebo rozpojují obvod. U jazýčkových relé jsou však kontakty mnohem menší než u relé elektromechanických. Toto relé se skládá ze dvou tenkých feromagnetických jazýčků, které jsou umístěny v hermeticky utěsněné skleněné nebo keramické kapsli, tato kapsle je naplněna inertním plynem nebo je v ní vakuum. Tato kapsle je uložena uvnitř cívky. Kontakty jazýčkového relé jsou v klidovém stavu rozpojeny. Po připojení cívky ke zdroji začne cívkou protékat elektrický proud, dojde k vytvoření magnetického pole a toto pole k sobě přitáhne jazýčkové kontakty. Po odpojení od zdroje se od sebe jazýčky opět oddálí vlivem svého vlastního pnutí. Pohyblivé části jazýčkového relé jsou velmi malé a lehké, je tedy možné je přepínat daleko rychleji (zhruba 10x rychleji než klasické elektromechanické), mají také mnohem větší životnost a vyžadují k sepnutí velmi malý výkon. To jsou hlavní výhody oproti elektromechanickým relé zmíněným výše. Jejich výhody sebou přináší i nevýhody a to například náchylnost tenkých feromagnetických jazýčků k poškození obloukem při uzavírání obvodu. Tento oblouk může část některého z jazýčků roztavit a nebo k sobě oba jazýčky svařit. Ačkoli mají jazýčky určité vlastní pnutí, díky kterému se rozpojí v okamžiku, kdy odpojíme cívku od zdroje, tak toto pnutí je ve většině případů nedostatečné k rozlomení případného sváru a jazýčkové relé již zůstane trvale v poloze zapnuto a stává se nepoužitelným. Pro tyto relé jsou tedy velmi nebezpečné nárazové proudy. Díky malé velikosti a velké rychlosti jsou tyto relé skvělá volba pro mnoho spínacích aplikací. [6]

### 2.2.2.3 Solid state relé

Tento druh relé se již celkem zásadně liší od předchozích a to hlavně z důvodu, že neobsahuje žádné mechanické pohyblivé části. Jedná se o elektronické spínače, které se aktivují malým vnějším napětím. Tyto relé existují v provedení s tranzistory nebo tyristory a triaky. SSR lze zakoupit pro použití od pouhých několika voltů nebo miliampér až po stovky voltů a desítky ampér. Pro velmi vysoké proudy (150A a více) jsou však velmi drahé a již od jednotek ampér je nutné SSR chladit. Z těchto důvodů jsou pro tyto aplikace s velkými proudy stále preferovány levnější elektromechanické stykače. Pro použití v oblasti telekomunikací, měření, bezpečnosti a průmyslové regulace se volí provedení SSR označované také jako PhotoMOS relé. Tyto relé jsou konstruovány s použitím fotocitlivého MOSFET a LED (Obrázek 21).



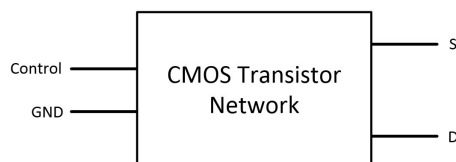
Obrázek 21: Solid state relé [6]

Jelikož SSR neobsahují žádné mechanické části, tak je jejich životnost mnohem větší než u elektromechanických nebo jazýčkových relé a také nejsou citlivé na fyzické vibrace. V některých aplikacích může být považováno za velkou výhodu i to, že SSR nevydávají žádný zvuk a nejzásadnější výhodou oproti elektromechanickým a jazýčkovým relé je galvanické oddělení řídicího a silového obvodu. Nevýhodou SSR je vnitřní odpor v sepnutém stavu, protože spojení není provedené jako u elektromechanických nebo jazýčkových relé přímo kovovým kontaktem, ale přes tranzistor. Velikost odporu kontaktů se nejčastěji pohybuje v rozmezí desetin až desítek Ohm v závislosti na volbě ostatních parametrů, jako jsou rychlost zapnutí/vypnutí, maximální proud atd. Čas zapnutí a vypnutí se u většiny těchto PhotoMOS relé pohybuje v rozmezí 0,05 až 10ms. SSR nejsou tak robustní jako elektromechanické relé a stejně jako jazýčkové relé jsou velice náchylné na spínací nadproudy. Ačkoli zde není přímé kovové spojení, poškození MOSFETu může způsobit, že bude relé nepoužitelné. V neposlední řadě jsou SSR dražší než elektromechanické nebo jazýčkové relé. [6] [34] [35] [36]

### 2.2.2.4 FET přepínače

Přepínače FET využívají k přepínání tranzistory vyrobené technologií CMOS (Obrázek 22). CMOS tranzistory jsou řízeny elektrickým polem. Přivedením napětí na řídicí obvod Gate se ovládá řízený obvod Drain - Source. Stejně jako SSR nejsou ani FET přepínače mechanická zařízení. Rozdíl mezi SSR a FET je ten, že u FET řídicí obvod řídí řízený obvod přímo, na-

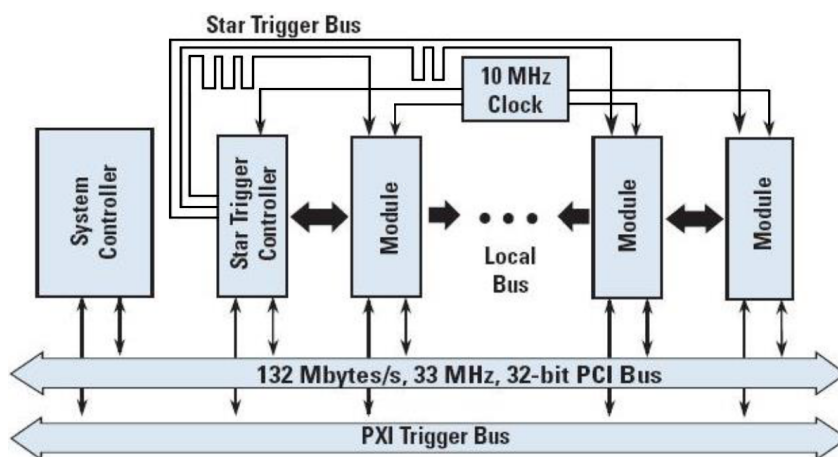
místo použití LED jako je tomu u SSR. I přesto mají tyto přepínače spoustu výhod a nevýhod společných s SSR. Výhodou je například velká životnost z důvodu absence mechanických částí. Nevýhodou je vyšší odpor v sepnutém stavu než u elektromechanických či jazýčkových relé. Obecně se dá říct, že ze všech zde zmíněných přepínačů jsou FET přepínače schopny dosáhnout nejvyšší frekvence spínání. Vzhledem k tomu, že neobsahují žádné mechanické části, jsou tyto přepínače většinou velmi malé. Zásadní nevýhoda těchto přepínačů je však absence jakékoli izolační bariéry a mohou být tedy použity pouze pro nízkonapěťové signály. [6]



Obrázek 22: FET přepínač [6]

### 3 Průmyslový tester realizovaný na HW National Instruments PXI

PCI eXtensions for Instrumentation (PXI) je platforma pro modulární měřicí přístroje, která kombinuje technologie spouštění, časování, operační systémy, vývojová prostředí a sběrnice (Obrázek 23).



Obrázek 23: Blokové schéma PXI [8]

Systémy PXI jsou vhodné pro vykonávání měření a testování, při kterých je požadován vysoký výkon. Šasi PXI je nabízeno ve velkém množství variant a rozměrů. Všechny tyto šasi mají mezi jednotlivými sloty integrováno časování a synchronizaci. Tyto šasi mohou být osazeny I/O moduly od NI, ale také moduly od jiných výrobců. Toto zaručuje velký rozsah a rozmanitost měření. Tyto moduly je možné ovládat z vestavěného kontroléru nebo externího PC. Synchronizace a ovládací software, které PXI poskytuje z něj vytváří ideální zařízení pro průmyslové testování v oblastech jako například letectví, vojenské technologie, automobilová výroba a další. PXI může být ovládáno pomocí softwarových produktů od NI jako jsou LabVIEW, TestStand, nebo pomocí nástrojů třetích stran pro přizpůsobení aplikace konkrétním potřebám uživatele. PXI nám tedy umožňuje měřit s velmi vysokou přesností, velkou rychlostí a dovoluje přizpůsobování vlastních testovacích aplikací. Zvýšení časové efektivity testování je možné zvýšením počtu testovacích stanic. Tento způsob je nákladný a využívá se tedy vícejádrových počítačů, které testují více jednotek paralelně. K implementaci této architektury je nutné přepínání, které je realizováno pomocí přepínačů a programováno za pomoci nástroje NI Switch Executive [30][8]

#### 3.1 PXI šasi

PXI šasi jsou HW základny, které mohou mít 4-18 slotů, přenosové rychlosti v rozsahu od 132MB/s do 8GB/s, možnosti napájení AC/DC, chlazení zařízení, možnost externího oscilátoru,



počet PXIe, PXI a hybridních slotů (Obrázek 24). K datu 21.1.2019 se ceny šasi pohybují v rozmezí 33 300 - 294 300Kč. [9]



Obrázek 24: Šasi PXIe-1085 (vpravo), PXIe-1071 (vlevo) [9]

## 3.2 PXI kontroléry

PXI je možno ovládat několika způsoby. Pomocí PXI Controller, PXI Remote Control Modul nebo pomocí External Controller for PXI.

### 3.2.1 PXI Embedded Controller

Prvním způsobem ovládání je pomocí PXI Controller (Obrázek 25). V případě PXI Controlleru se jedná o plnohodnotný počítač, který je vložen do šasi. Tento počítač obsahuje procesor, u kterého je možné si zvolit od modelu Intel Atom až po model Xeon 8-Core. Dále obsahuje vlastní operační systém, v nabídce NI je možné si vybrat Windows 7, Windows 10 nebo LabVIEW Real-Time. Přenosové rychlosti mezi tímto kontrolérem a šasi jsou v rozsahu 123MB/s až 34GB/s. Standardy operačních pamětí se pohybují v rozmezí 2-25GB. K datu 21.1.2019 se ceny PXI Controllerů pohybují v rozmezí 30 600 - 224 100Kč. [10]



Obrázek 25: PXI Controllers [10]

### 3.2.2 PXI Remote Control Module

PXI Remote Control Module slouží k ovládání PXI z počítače (Obrázek 26). U této možnosti ovládání je možné si vybrat mezi měděným kabelem (až 10m) nebo optickým (až 100m). Přenosové rychlosti se pohybují v rozsahu 132MB/s až 16GB/s. Pro řízení PXI systémů z externích PC se používá Multisystem Extension Interface Bus (MXIbus). MXI je 32-bitová multi-master

systémová sběrnice, která funguje jako systémová sběrnice na základních deskách, ale umožňuje použití kabelů pro propojení fyzicky oddělených zařízení. [11]



Obrázek 26: PXI Remote Control Modules [12]

### 3.3 PXI moduly

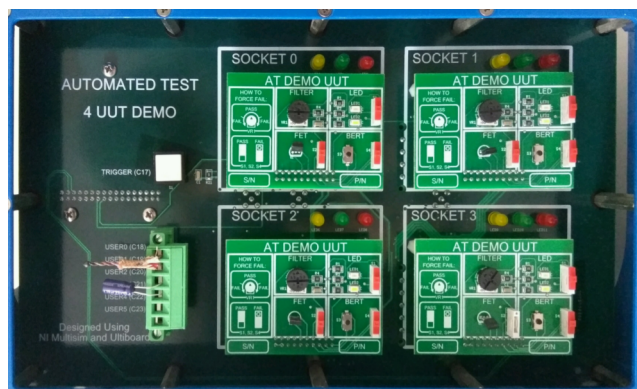
Moduly slouží k získávání dat, spouštění a synchronizaci zařízení, generování a směrování signálů, a provádění různých měření. Mezi tyto moduly patří např. funkční generátor, digitální multimetr, osciloskop atd.

### 3.4 Příklad demonstračního testeru na bázi PXI

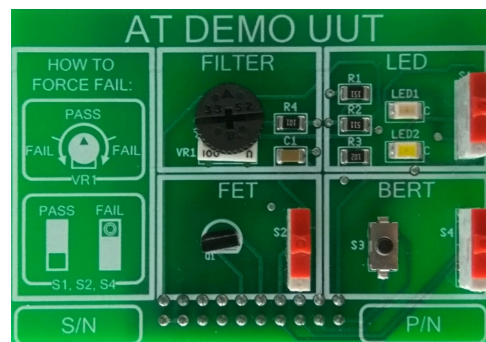
V rámci realizace této práce jsem měl možnost detailně prozkoumat profesionální demonstrační tester na bázi PXI (Obrázek 27). Tento tester se skládal z šasí NI PXIe-1082, kontroléru NI PXIe-8133, generátoru signálu NI PXIe-5442, osciloskopu NI PXIe-5122, digitálního analyzátoru NI PXIe-6548, měřícího zdroje NI PXIe-4143, digitálního multimetru NI PXI-4071 a maticového přepínače NI PXI-2532. Tento demonstrační tester slouží k testování čtyř desek plošných spojů, kde každá z desek obsahuje 4 testované jednotky (Obrázek 28). Přibližná cena průmyslového testeru s těmito PXI komponenty se pohybuje v rozmezí 1 500 000 - 2 000 000 Kč



Obrázek 27: Profesionální demonstrační tester na bázi PXI



(a) Testované moduly demonstračního testeru



(b) Testovaný modul

Obrázek 28: Testované moduly demonstračního testeru NI

### 3.5 Software pro ovládání průmyslového testeru

Pro ovládání průmyslového testeru se používá LabVIEW a TestStand v kombinaci s NI Switch Executive. V případě potřeby ovládání samotného modulu přepínače jiným způsobem, než vytvářením celých testovacích sekvencí pomocí NI Switch Executive, je možno použít v LabVIEW knihovnu NI SWITCH.

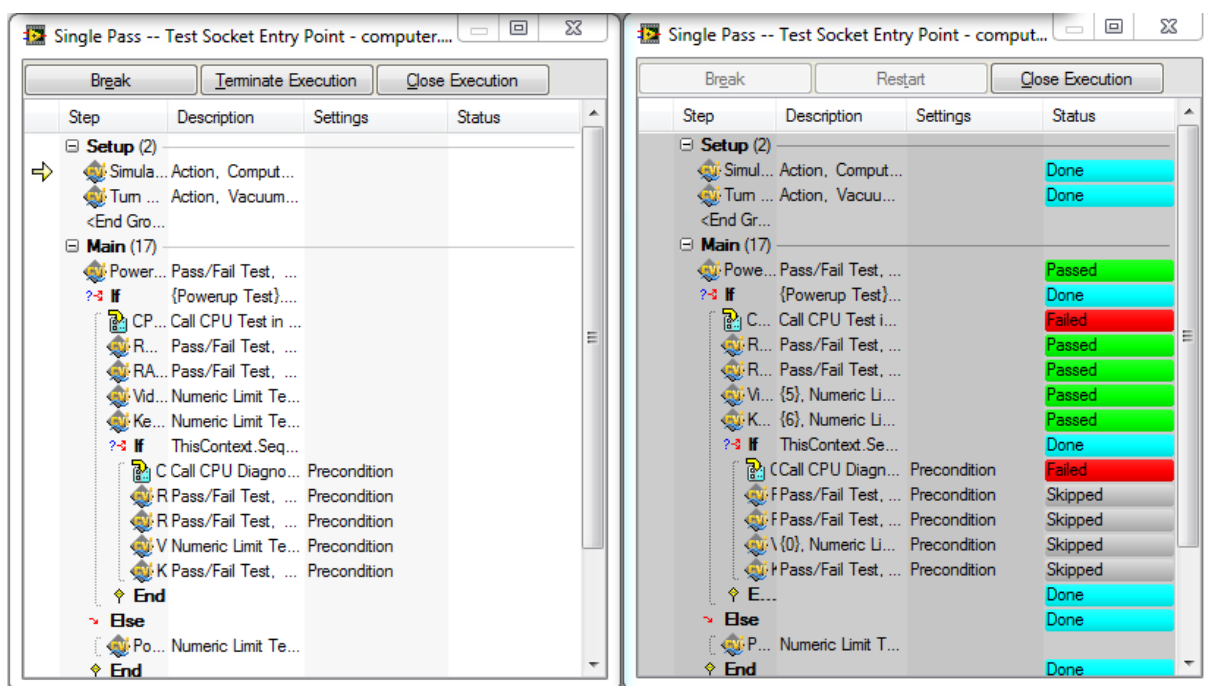
#### 3.5.1 TestStand

TestStand je program pro správu testů a je připraven k rychlému vývoji automatizovaných testovacích systémů (Obrázek 29). V tomto programu je možno skládat jednotlivé testovací sekvence vytvořené v řadě programovacích jazyků, které automatizují provádění testování. Tyto sekvence integrují kódové moduly, které mohou být napsány v různých programovacích jazycích G, C/C++, .NET nebo Python. TestStand obsahuje moduly pro vytváření reportů, protokolů, ukládání do databází pro budoucí analýzu a pro sdílení s dalšími podnikovými systémy. TestStand podporuje ukládání dat ve formátech jako ATML, XML, HTML a TXT. [13]

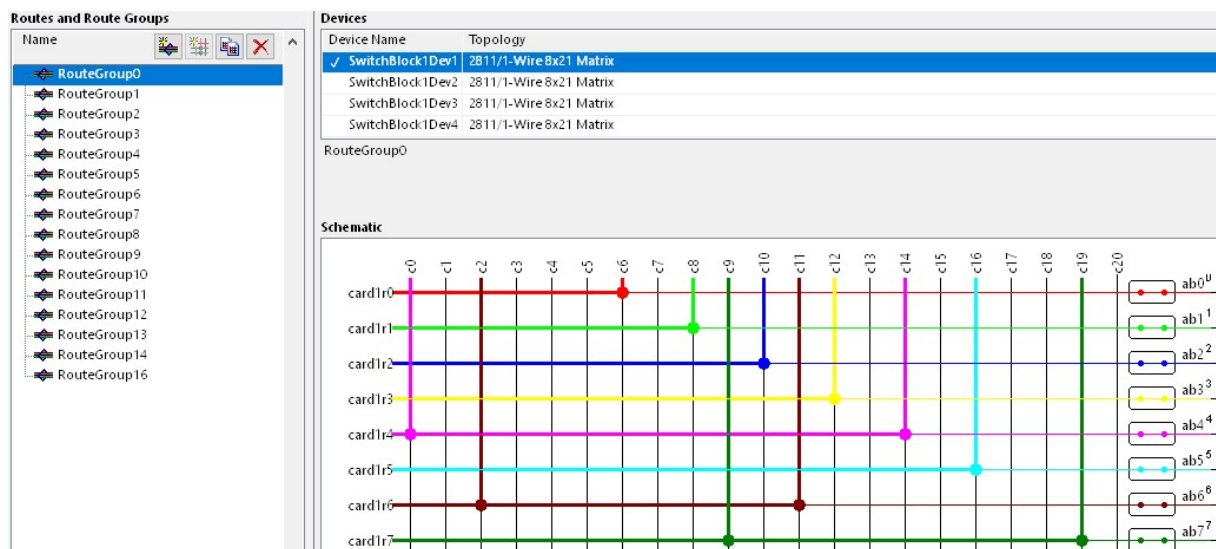
#### 3.5.2 NI Switch Executive

NI Switch Executive je aplikace pro správu přepínačů a směrování signálů. Jedná se o software pro automatizované testovací zařízení a zvýšení produktivity při vývoji pomocí interaktivního konfigurování automatického směrování, pojmenování přepínacích modulů a tras signálů. Výsledná nakonfigurovaná propojení v tomto programu (Obrázek 30) je možné dále využít několika způsoby. Jedním ze způsobů je využití v programu TestStand. V tomto programu stačí pouze zvolit Switch Executive Virtual Device což odpovídá souboru z NI Switch Executive, ve kterém může být uloženo velké množství přednastavených námi nakonfigurovaných cest nebo skupin cest a dále zvolit Routes to Connect, které označuje konkrétní cestu nebo skupinu cest obsaženou ve Switch Executive Virtual Device. Routes to Connect je možné spustit ve smyčce a vykonat

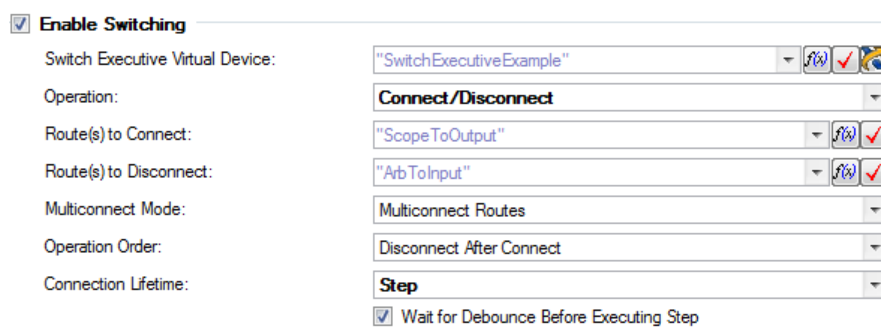
tak postupně jen některé, nebo všechny skupiny cest obsažené v hlavním souboru Switch Executive Virtual Device (Obrázek 31). K těmto datům z NI Switch Executive se dále v programu TestStand přidají programy napsané v některém z podporovaných programovacích jazyků, které se budou při každém přepnutí cest vykonávat a je tímto způsobem možno vcelku elegantním způsobem vytvořit automatizované testování. Další možností je využití nakonfigurovaných cest z NI Switch Executive přímo v LabVIEW. Programování v LabVIEW s použitím nakonfigurovaných cest z NI Switch Executive je velmi podobné jako například tvorba řetězce pro DAQ. NI Switch Executive má v LabVIEW svou vlastní knihovnu funkcí. Pro práci s daty z NI Switch Executive je nutné vytvořit základní řetězec (Obrázek 32) vložení funkce niSE Open Session, která má jako požadovaný vstup Virtual Device Name označující soubor z NI Switch Executive a výstupem této funkce je NISE Session (out), který tvoří propojení pro všechny funkce z palety NI Switch Executive. Dále niSE Connect, kde je požadovaným vstupem NISE Session (out) a Connection Specification což označuje konkrétní cestu nebo skupinu cest v hlavním souboru. NISE Session prochází přes Flat Sequence, která obsahuje část programu, která se má vykonat při sepnutém přepínači. Po vykonání požadované části programu následuje funkce niSE Disconnect, pomocí které se provede rozpojení spojené skupiny cest. Poslední částí je zavření celé relace a výpis chyb z chybového clusteru, kterým je provázán celý tento řetězec. [17]



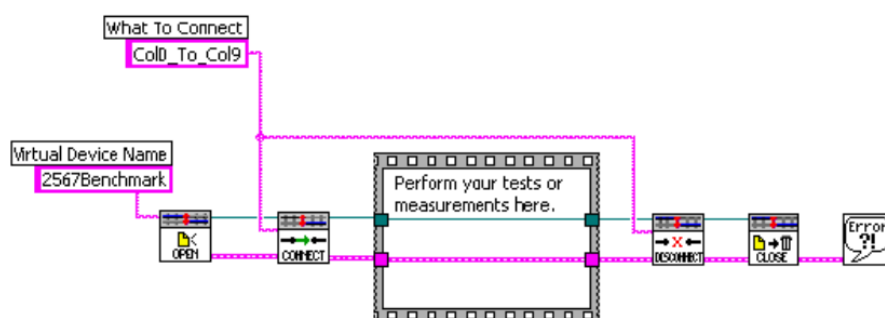
Obrázek 29: Software TestStand [14]



Obrázek 30: Software NI Switch Executive (Ve sloupci vlevo seznam šestnácti vytvořených skupin cest. Vpravo konkrétní zobrazení jedné skupiny cest) [15]



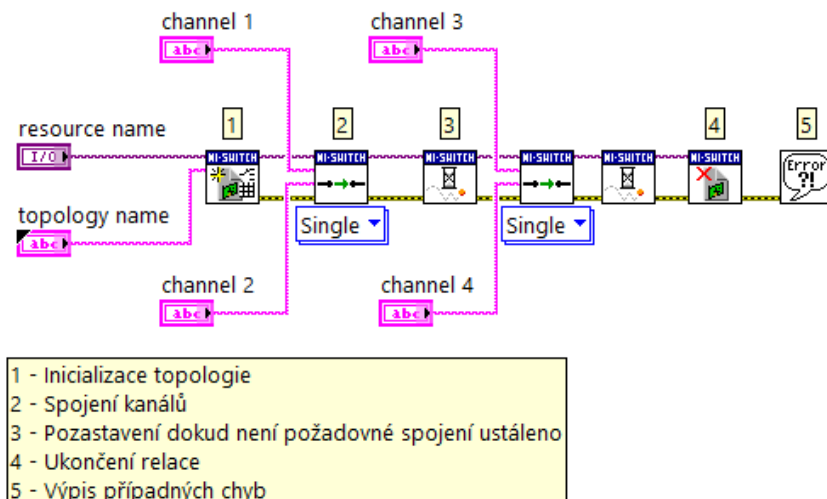
Obrázek 31: Zvolení zdrojového souboru se skupinami cest a výběr konkrétní skupiny cest v programu TestStand [16]



Obrázek 32: Základní řetězec pro práci s daty z NI Switch Executive v LabVIEW [18]

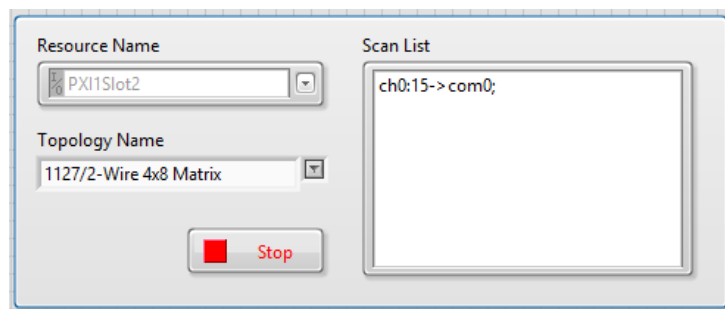
### 3.5.3 Knihovna NI SWITCH

Pomocí VIs z této knihovny lze pracovat v prostředí LabVIEW s jednotlivými uzly přepínače. Tato knihovna obsahuje VIs pro základní akce jako jsou inicializace topologie, spojení dvou kanálů, rozpojení kanálů atd. (Obrázek 33). Spojení pomocí funkce spojení kanálů je zvoleno zápisem, který sloupec se má spojit se kterým řádkem (Obrázek 34), další možností je konfigurační scan list (Obrázek 35), do kterého je možné zapsat požadovaná spojení, nebo zvolení konkrétního relé, které má být sepnuto (Obrázek 36).

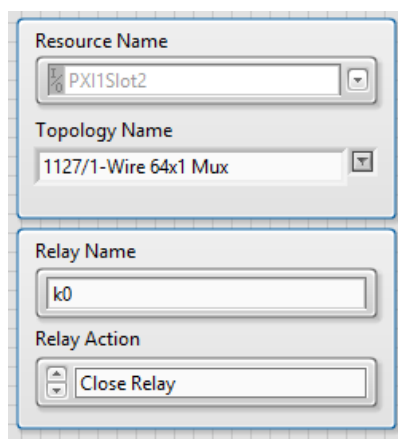


Obrázek 33: Jednoduchý program pro práci s přepínačem vytvořený pomocí VIs z knihovny NI SWITCH

Obrázek 34: Front Panel VI pro ovládání dvou spojení přepínače



Obrázek 35: Front Panel VI pro sepnutí konkrétních spojení přepínače pomocí konfiguračního listu



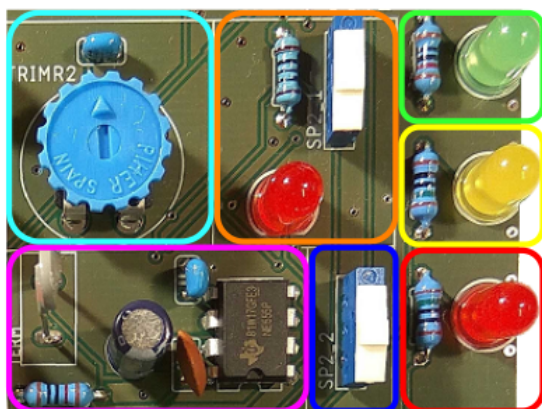
Obrázek 36: Front Panel VI pro sepnutí konkrétního relé přepínače



## 4 Princip funkce testeru

Na testeru realizovaném v této práci je jako prostředek pro testování použita DAQ karta NI PCI-6221 ve verzi s 68 piny. Tato karta obsahuje 2 analogové výstupy (AO), 16 analogových vstupů (AI) a 24 digitálních vstupů/výstupů (DIO). Testovány jsou 4 totožné moduly, kde každý modul (Obrázek 37) obsahuje:

- Filtr typu dolní propust realizovaný jako RC článek.
- Červenou LED zapojenou s rezistorem v sérii.
- Posuvný spínač pro realizaci Bit Error Rate Test.
- Převodník teploty na frekvenci realizovaný časovačem NE555 v zapojení jako astabilní klopný obvod s NTC termistorem.

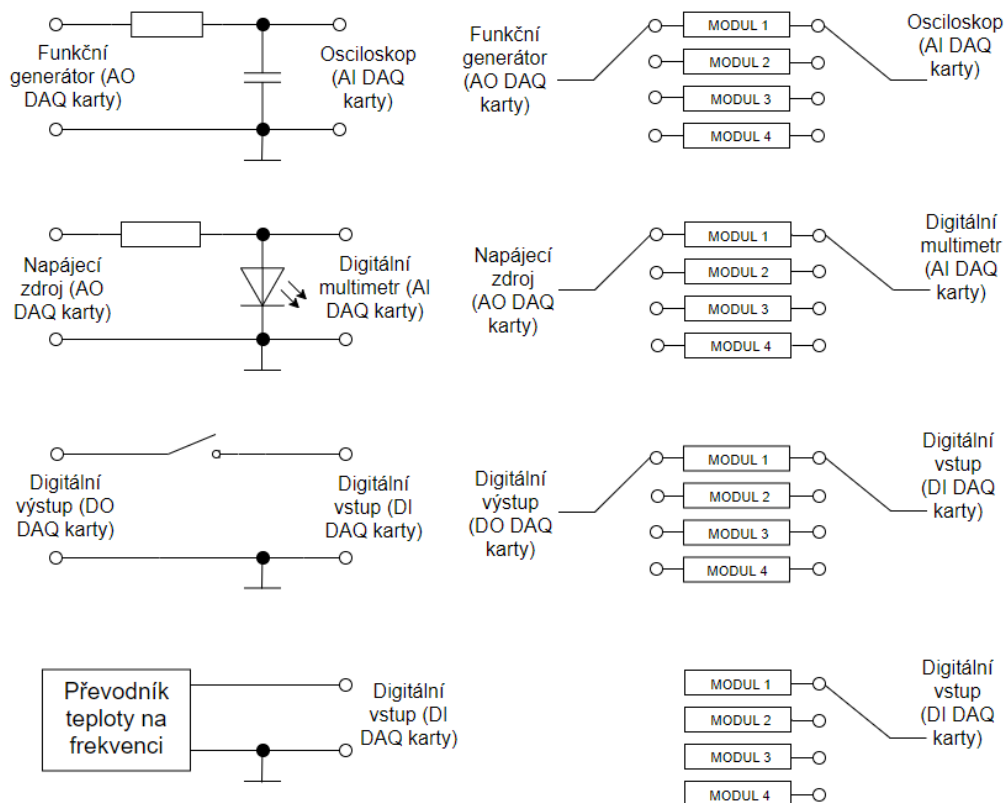


- Dolní propust realizována jako RC článek s použitím trimru.
- Červená LED zapojená v sérii s rezistorem. Posuvným spínačem se zkratuje LED.
- Posuvný spínač pro realizaci Bit Error Rate Test.
- Časovač NE555 v zapojení jako astabilní klopný obvod s NTC termistorem (převodník teploty na frekvenci).
- Zelená LED indikující funkční modul.
- Žlutá LED indikující probíhající testování.
- Červená LED indikující nefunkční modul.

Obrázek 37: popsaný testovaný modul

Další text popisuje k čemu jsou využity AO, AI, DI, DO DAQ karty. Při testování dolní propusti slouží jeden AO jako generátor sinusového signálu na vstup dolní propusti a jeden AI jako osciloskop na výstupu této propusti. Pro testování LED je další AO použit jako zdroj napětí pro LED a další AI jako digitální multimetr měřící napětí na LED. BERT test je realizován vysláním sekvence bitů jedním DO na vstup posuvného spínače a měřením na výstupu tohoto spínače pomocí DI, zda vyslané bity tímto spínačem prošly. Test převodníku teploty na frekvenci (t/f) nemá žádný vstupní signál a je zde pouze DI, který slouží k měření obdélníkového signálu generovaného integrovaným obvodem NE555 (Obrázek 38).





Obrázek 38: Jednotlivé testované jednotky a jejich přepínání

Při testování pomocí DAQ karty je tedy k dispozici omezený počet virtuálních měřících přístrojů a je nutné tyto přístroje mezi jednotlivými testovanými moduly v průběhu testování přepínat. Celkem je na desce s testovanými moduly 16 testovaných jednotek, z nichž jsou vždy 4 jednotky totožné. Pro testování všech těchto testovaných jednotek jsou k dispozici měřící přístroje vždy pouze k testování jedné jednotky jednoho typu v jeden okamžik. Je možno tedy testovat v jeden okamžik 1x filtr, 1x LED, 1x BERT, 1x převodník t/f, ale není možno testovat v jeden okamžik například 2x filtr a 2x LED. Automatické přepínání měřících přístrojů mezi testovanými moduly multiplexerovým přepínačem je časově efektivnější než testování bez automatického přepínání, ale nikdy nebude tak časově efektivní jako kdyby měla každá testovaná jednotka k dispozici své měřící přístroje a mohlo by být testováno všech 16 jednotek v jeden okamžik. Zde je zásadním rozhodovacím faktorem finanční rozpočet pro stavbu testeru. Použití čtyř měřících přístrojů a jednoho přepínače bude pravděpodobně vždy výrazně levnější varianta (v závislosti na požadované přesnosti měření a tedy ceně měřících přístrojů), než koupě šestnácti měřících přístrojů.

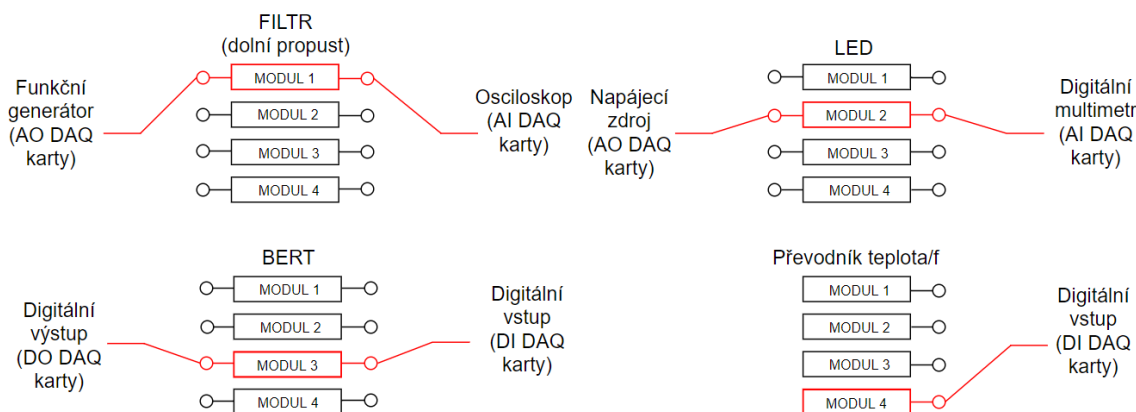
Každý testovaný modul má také přiřazený 3 indikační LED, které slouží jako prostředek pro předání informace o průběhu a výsledcích testů, aniž by musel uživatel nahlížet do aplikace. Každý modul má jednu žlutou, zelenou a červenou indikační LED. Při aktuálně probíhající testování svítí vždy LED žluté barvy, po dokončení testování se rozsvítí barva podle toho, zdali

je modul kompletně bezvadný. Pokud je modul kompletně bezvadný, tak se u něj rozsvítí zelená LED, pokud je celý modul, nebo některá z jeho částí nefunkční, rozsvítí se červená LED. Tyto LED jsou ovládány pomocí HW posuvných registrů, do kterých jsou předávány informace o tom, které LED mají svítit pomocí třech DO.

K přepínání přístrojů mezi jednotlivými moduly je použit multiplexerový přepínač. Tento přepínač je realizován pomocí jazýčkových relé a je řízen přes 3x DO na DAQ kartě. Celkově je pro ovládání přepínače, ovládání indikačních LED a generování/měření signálů pro testování modulů využito na DAQ kartě 2xAO, 2xAI, 7xDO a 2xDI.

Testování probíhá tak, že na každém ze čtyř testovaných modulů je v jednom okamžiku testována pouze jedna HW jednotka. Testování probíhá ve čtyřech sekvencích.

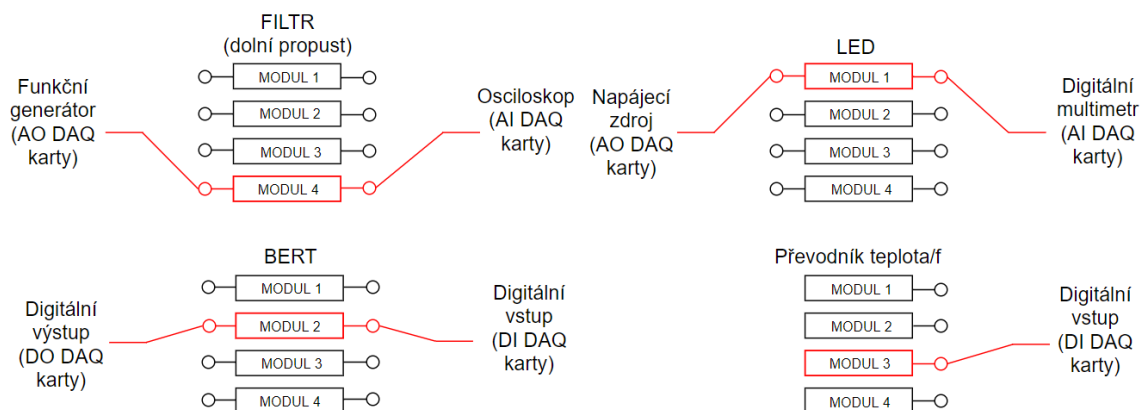
- Testovací sekvence č.1. K prvnímu modulu je připojen generátor signálu a osciloskop a na prvním modulu probíhá test dolní propusti. K druhému modulu je připojen zdroj napětí a digitální multimetr a probíhá na něm test LED. K třetímu modulu je připojen DO jako zdroj binární sekvence na vstup posuvného spínače a DI pro měření binární sekvence na výstupu posuvného spínače. Na třetím modulu tedy probíhá test BERT. Na poslední modul je v první sekvenci připojen DI pro testování převodníku t/f (Obrázek 39). Po vykonání těchto testů je provedeno přepnutí kanálů pomocí multiplexerového přepínače a provádí se další testovací sekvence.



Obrázek 39: Připojení měřících přístrojů k testovaným jednotkám v první testovací sekvenci

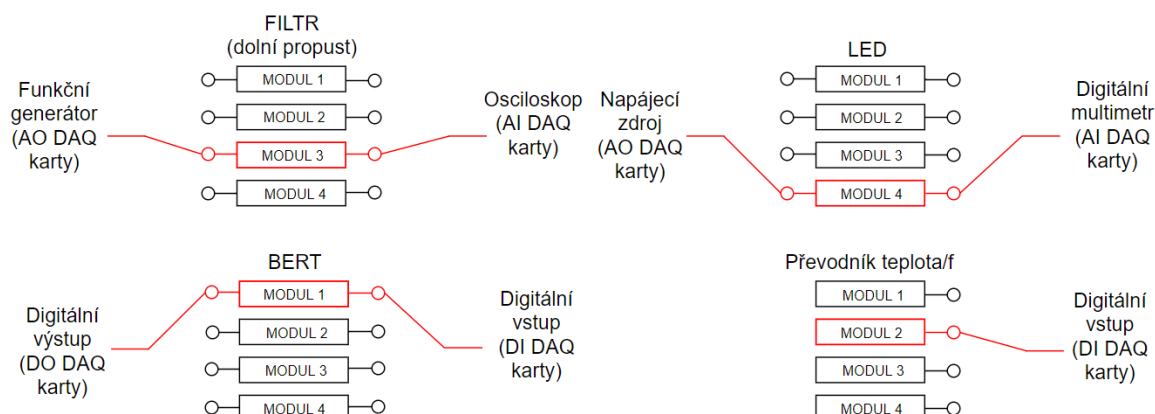
- Testovací sekvence č.2. K prvnímu modulu, na kterém byla v první sekvenci testována propust je místo generátoru signálu a osciloskopu připojen zdroj napětí a digitální multimetr a probíhá test LED. Na druhý testovaný modul, na kterém byla v první sekvenci testována LED, je místo zdroje napětí a digitálního multimetru připojen DO jako zdroj binární sekvence na vstup posuvného spínače a DI pro měření výstupní binární sekvence a probíhá BERT test. Na třetím modulu, na kterém byl v první sekvenci prováděn BERT test, je místo DO jako zdroje binární sekvence a DI pro měření binární sekvence připojen DI pro testování převodníku t/f. Na čtvrtém modulu, na kterém v první sekvenci probíhal

test převodníku t/f, je místo DI pro měření výstupního signálu převodníku t/f připojen generátor signálu a osciloskop pro testování dolní propusti (Obrázek 40). Po vykonání těchto testů je znovu provedeno přepnutí kanálů pomocí multiplexerového přepínače.



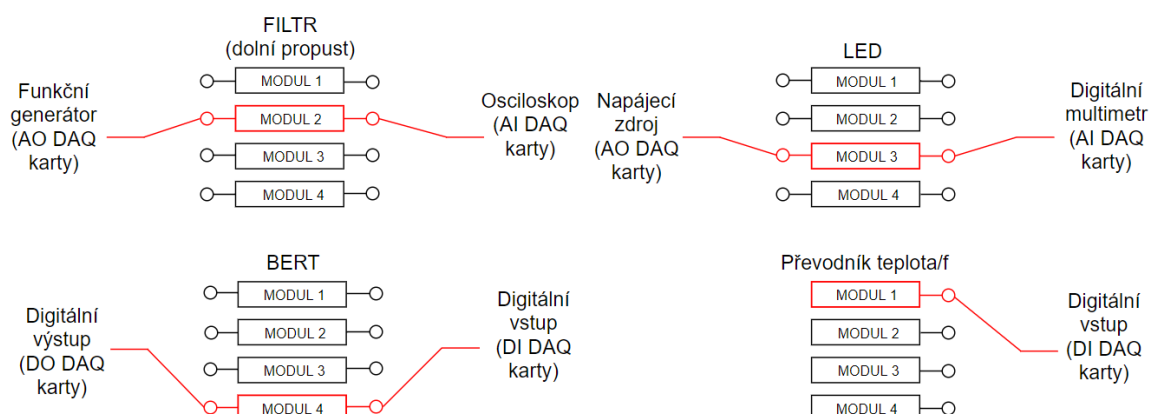
Obrázek 40: Připojení měřících přístrojů k testovaným jednotkám ve druhé testovací sekvenci

- Testovací sekvence č.3. K prvnímu modulu, na kterém byla v druhé sekvenci testována LED je místo zdroje napětí a digitálního multimetru připojen DO jako zdroj binární sekvence na vstup posuvného spínače a DI pro měření výstupní binární sekvence a probíhá BERT test. Na druhý testovaný modul, na kterém byl v druhé sekvenci testován BERT, je místo DO jako zdroje binární sekvence a DI pro měření binární sekvence připojen DI pro testování převodníku t/f. Na třetím modulu, na kterém v druhé sekvenci probíhal test převodníku t/f, je místo DI pro měření výstupního signálu z převodníku t/f připojen generátor signálu a osciloskop pro testování dolní propusti. Na čtvrtém modulu, na kterém byla v druhé sekvenci testována propust, je místo generátoru signálu a osciloskopu připojen zdroj napětí a digitální multimetr a probíhá test LED (Obrázek 41). Po vykonání těchto testů je znovu provedeno přepnutí kanálů pomocí multiplexerového přepínače.



Obrázek 41: Připojení měřících přístrojů k testovaným jednotkám ve třetí testovací sekvenci

- Testovací sekvence č.4. K prvnímu modulu, na kterém byl ve třetí sekvenci testován BERT je místo DO jako zdroje binární sekvence a DI pro měření binární sekvence připojen DI pro měření výstupního signálu z převodníku t/f. Na druhý testovaný modul, na kterém ve třetí sekvenci probíhal test převodníku t/f, je místo DI pro měření výstupního signálu z převodníku t/f připojen generátor signálu a osciloskop pro testování propusti. Na třetím modulu, na kterém byla ve třetí sekvenci testována propust, je místo generátoru signálu a osciloskopu připojen zdroj napětí a digitální multimetr a probíhá test LED. Na čtvrtém modulu, na kterém byla ve třetí sekvenci testována LED, je místo zdroje napětí a digitálního multimetru připojen DO jako zdroj binární sekvence na vstup posuvného spínače a DI pro měření výstupní binární sekvence a probíhá BERT test (Obrázek 42).



Obrázek 42: Připojení měřících přístrojů k testovaným jednotkám ve čtvrté testovací sekvenci

Takto jsou měřící přístroje po sekvencích přepínány mezi testovanými moduly než jsou otestovány všechny testované jednotky.

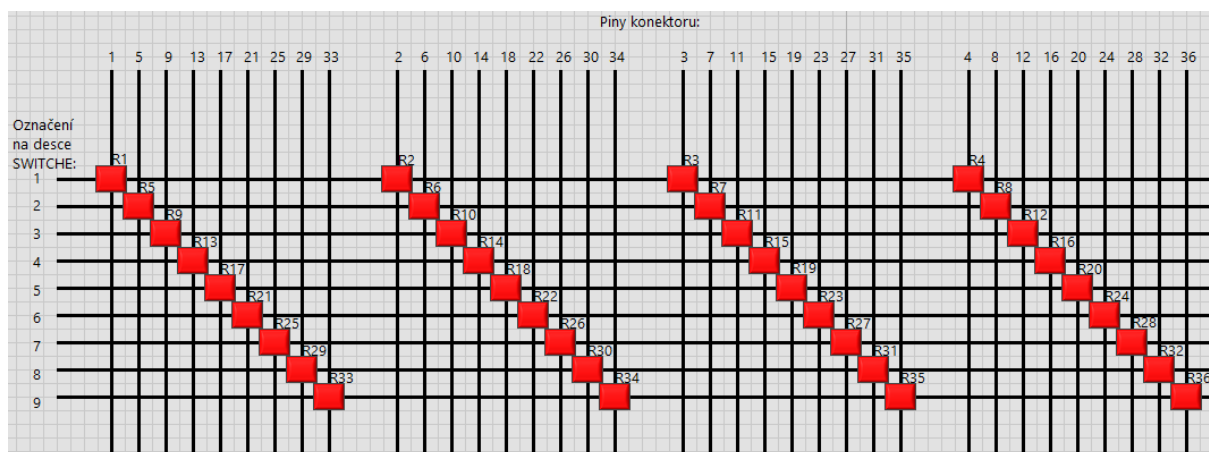
V grafickém znázornění průběhu testovacích sekvencí (Obrázek 43) jsou jednotlivé sekvence podbarveny. Sekvence č.1 je podbarvena růžovou barvou, sekvence č.2 je podbarvena tmavě zelenou barvou, sekvence č.3 je podbarvena hnědou barvou a sekvence č.4 je podbarvena světle zelenou barvou.

	FILTER	LED	BERT	NE555	DURATION OF TESTS
UUT1	OK	OK	OK	OK	SEQUENCE: 4,558s
UUT2	OK	OK	OK	OK	SEQUENCE: 4,56s
UUT3	OK	OK	OK	OK	SEQUENCE: 4,572s
UUT4	OK	OK	OK	OK	SEQUENCE: 4,59s
INTERVAL	I.	II.	III.	IV.	

Obrázek 43: Grafické znázornění průběhu testovacích sekvencí

## 5 Praktická realizace přepínače

Vzhledem k požadovaným vlastnostem na laboratorní úlohu s přepínačem, zachování co největší modularity pro případné použití přepínače i v jiných projektech, bakalářských pracích a taktéž s ohledem na cenu byl vybrán k realizaci multiplexerový přepínač s jazýčkovými relé. Pro multiplexerový přepínač namísto maticového přepínače bylo rozhodnuto z finančních a rozměrových důvodů. Požadavkem bylo testovat 4 tožné testované moduly, kde každý testovaný modul obsahuje 4 jednoduché elektronické obvody nebo součástky. Po výběru těchto obvodů a součástek bylo zjištěno že, pro správnou funkčnost je potřeba 7 vstupních kanálů, kde každý je možno přepínat na 4 další kanály. Výsledkem tedy bylo 28 uzlů, které by byly využívány. V případě výroby výrazně univerzálnějšího maticového přepínače by to znamenalo 196ks relé na jeden přepínač. V případě zvoleného multiplexerového se jedná o 28ks relé. Návrh multiplexerového přepínače byl realizován dříve než návrh testovaných obvodů a byla jeho topologie zvolena jako 9 vstupních kanálů, které je možné přepínat na další 4 kanály. Celkový počet relé použitých na přepínač pro tuto BP je 36ks (Obrázek 44).



Obrázek 44: Logika přepínače

V případě, že by byl pro tuto bakalářskou práci zvolen maticový přepínač, který by měl poskytovat požadovanou topologii a požadovaný rozsah přepínání pro tuto práci, muselo by být relé v každém křížení řádků a sloupců (Obrázek 44) a bylo by zde tedy použito 324 relé, místo 36 relé použitých u multiplexerového přepínače. Tudíž by tato varianta byla výrazně univerzálnější co se týče možností topologií přepínání. Pro tuto práci by však rozšíření topologií nepřinášelo žádné výhody, ale takto výrazné zvýšení počtu použitých součástek by přineslo značné komplikace v podobě nárustu velikosti desky a celkové ceny.

## 5.1 Elektronické součástky přepínače

Přepínač se skládá z několika základních elektronických součástek, kterými jsou posuvný registr, tranzistorové pole, relé a lokální blokovací kondenzátor.

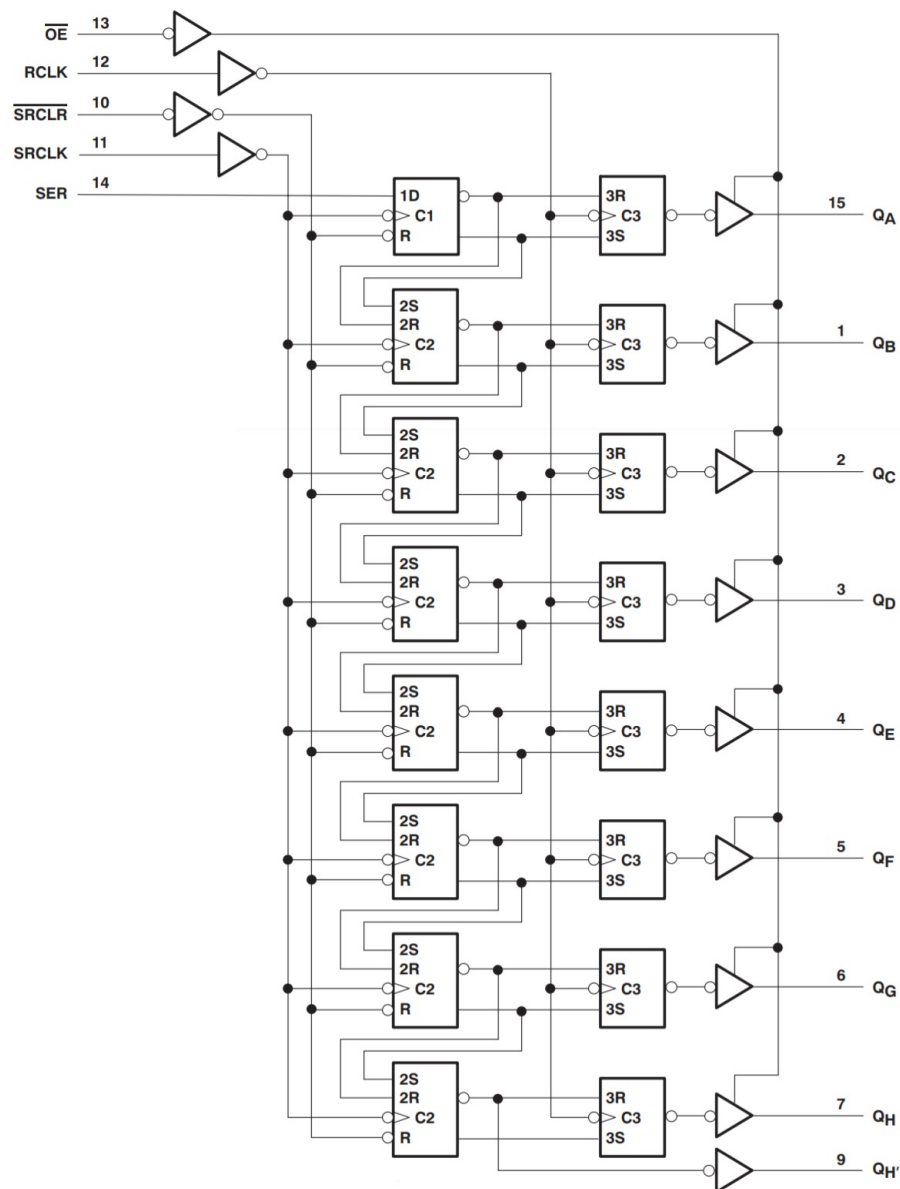
### 5.1.1 Posuvný registr

Posuvný registr je elektronická součástka, která umožňuje uchovávat a posouvat binární informace. Posuvné registry je možno rozdělovat podle způsobu vkládání dat na vstup:

- Posuvné registry se vstupem Data IN, výstupem Data OUT a hodinovým signálem CLK. Tento typ posuvného registru se používá jako speciální typ sériové paměti nebo zpožďovací linka.
- Posuvné registry které jsou opatřeny kromě Data IN, Data OUT a CLK ještě výstupy jednotlivých stupňů. Tyto posuvné registry se označují zkratkou SIPO.
- Posuvné registry, které kromě Data IN, Data OUT, CLK obsahují ještě vstupy pro zápis paralelní informace. Na výstup se produkují jednotlivé bity vstupu sériově. Tento typ je označován zkratkou PISO.

Vkládání dat do posuvných registrů se sériovým vstupem je možno provádět čtyřmi způsoby:

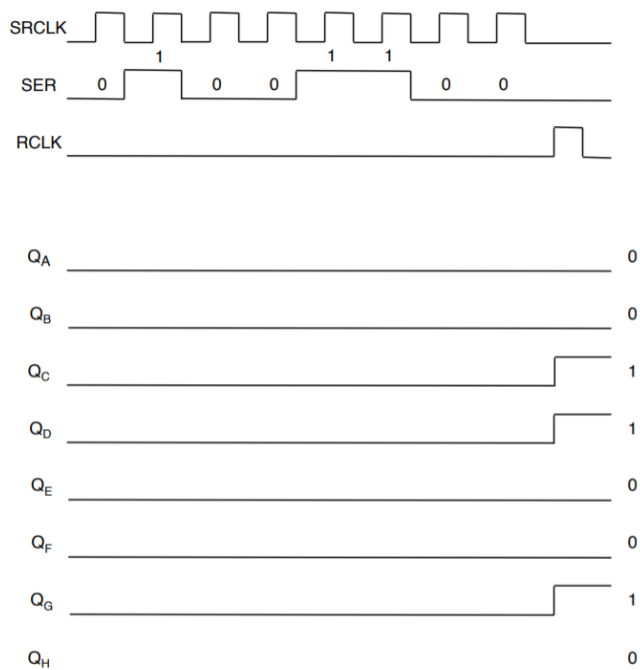
- **Náhrada nulami.** V tomto případě se při posuvu v posuvném registru uvolňují bity od nejnižší váhy. V případě spojení sériového vstupu s logickou úrovní odpovídající nule můžeme vkládat na uvolněná místa nuly.
- **Náhrada jedničkami.** V tomto případě je princip totožný jako u náhrady nulami. S rozdílem, že je sériový vstup spojen s logickou úrovní odpovídající hodnotě 1.
- **Sériový zápis informací.** Při tomto způsobu vkládání dat je sériový vstup připojen k výstupu externího zdroje dat. Tento zdroj dat musí být synchronizován s hodinovými impulzy posuvného registru.
- **Kruhový posuv.** U tohoto zápisu je bit s nejvyšší vahou spojen s bitem s nejnižší vahou pro posun vpravo a bit s nejnižší vahou s bitem s nejvyšší vahou pro posun vlevo. Tento zápis je typický pro kruhový registr. U registrů tohoto typu přicházející taktovací impulsy udržují zaznamenanou informaci v pohybu a na výstupu posledního KO se objevuje původní časová sekvence vždy po počtu taktovacích impulsů, kolik vstupů má tento posuvný registr. Tento typ registru musí být vždy doplněn o vstupní obvod, pomocí kterého je možné informaci do registru zapsat. Tyto kruhové registry se používají například jako paměti s kolujícími daty. [19]



Obrázek 45: Posuvný registr SN74HC595N [20]

Pro přepínač v této práci byl zvolen 8 bitový posuvný registr SIPO se sériovým zápisem informací a to konkrétně SN74HC595N (Obrázek 45). Tento registr je ovládán pomocí pěti vstupů. SER, SRCLK, SRCLR, RCLK, OE. Pro řízení posuvných registrů v této práci jsou použity pouze 3 vstupy. SER, SRCLK, RCLK. Vstup SER je sériový vstup, po kterém se posílají vstupní data do posuvného registru. Vstup SRCLK je hodinový vstup posuvného registru. Vstup RCLK je hodinový vstup paměti. Vstup SRCLR je vstup, který maže celý obsah posuvného registru po přivedení logické 0. Změnu dat v posuvných registrech je možné jednoduše provést tak, že jsou přepsány příchodem nových dat. Tento vstup by tedy zbytečně zabíral digitální výstup na DAQ kartě. U tohoto přepínače je tedy tento vstup zapojen stále na +5V (logická 1).

Vstup OE slouží k povolení výstupů. Pokud je OE v logické úrovni 1 tak jsou výstupy QA-QH zakázány. Pokud je OE v logické úrovni 0 tak jsou naopak výstupy QA-QH povoleny. Tento vstup je pro tuto aplikaci taktéž zbytečný, tudíž je stále připojen na GND (logická 0), aby byly výstupy stále povoleny. Pokud na vstupu SER prvního obvodu bude logická 1, přenesení se s náběžnou hranou hodinového signálu SRCLK na jeho výstup. S další náběžnou hranou SRCLK se přenesení na výstup druhého stupně a takto pokračuje. Po přivedení logické 1 na RCLK jsou hodnoty jednotlivých posuvných registrů uložené v paměti současně uvolněny na výstupy QA až QH (Obrázek 46). [20]



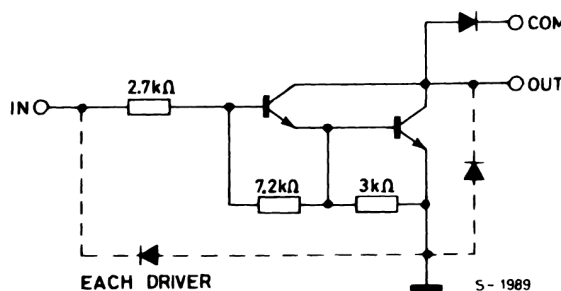
Obrázek 46: Časové průběhy posuvného registru

### 5.1.2 Tranzistorové pole

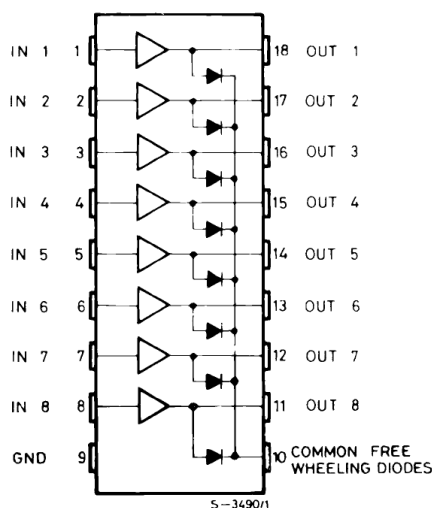
Tranzistorová pole jsou elektronické součástky, které v jednom pouzdře obsahují několik tranzistorů stejného typu. Výkonové tranzistory nemají většinou tak velký proudový zesilovací činitel jako malé univerzální tranzistory. Tento zesilovací činitel s rostoucím proudem kolektoru ještě klesá. V případě, že potřebujeme proud bází o hodnotě několika desítek mA, nemůžeme je obvykle získat z výstupů běžných logických integrovaných obvodů nebo jednoduchých jednočipových mikropočítačů. Pro toto použití existují výkonové tranzistory, které jsou uvnitř pouzdra uspořádány v darlingtonově zapojení (Obrázek 47). Tranzistory takto uspořádané potřebují pro své otevření výrazně menší proud bází než jednoduché tranzistory. Hlavní výhodou tohoto zapojení je výrazně větší proudový zesilovací činitel, než je tomu u pouhého jednoho tranzistoru. Vstupní budící tranzistor pracuje jako emitorový sledovač, jehož zátěž je tvořena obvodem báze



hlavního tranzistoru a toto zapojení má proto výrazně vyšší proudové zesílení než samotný výkonový tranzistor a pro jeho sepnutí je potřeba výrazně menší vstupní proud. V tomto konkrétním případě bylo použito tranzistorové pole ULN2803A. Jedná se o pole obsahující osm darlingtonových tranzistorů se společnými emitory. Zároveň tato tranzistorová pole obsahují i interní diody pro potlačení napěťových špiček při rozepínání indukivní zátěže. Každý z darlingtonových tranzistorů nabízí jmenovitý proud při špičkové zátěži až 600mA (500mA trvale) a výstupní napětí až 50V. ULN2803A má vstupní rezistor 2,7 k $\Omega$  pro snadné připojení k logikám TTL a CMOS (Obrázek 47). Darlingtonovo zapojení se používá jako spínač pro uzemnění různých typů zátěží například krokových motorů nebo relé. Odporů 7,2k $\Omega$  a 3k $\Omega$  udržují darlingtonovo zapojení vypnuté pokud do báze neteče žádný proud. Ve chvíli, kdy jsou tranzistory uzavřeny, není pin 18 uzemněn a neteče pinem 18 žádný proud. V případě přivedení logické 1 (+5V) na pin 1, protéká proud rezistorem 2,7 k $\Omega$  do báze prvního tranzistoru, který se otevře. Tento tranzistor dodává proud do báze druhého tranzistoru, který po otevření připojí pin 18 k zemi (Obrázek 48). [21] [22] [23] [24]



Obrázek 47: Schéma darlingtonového zapojení v poli ULN2803A [24]

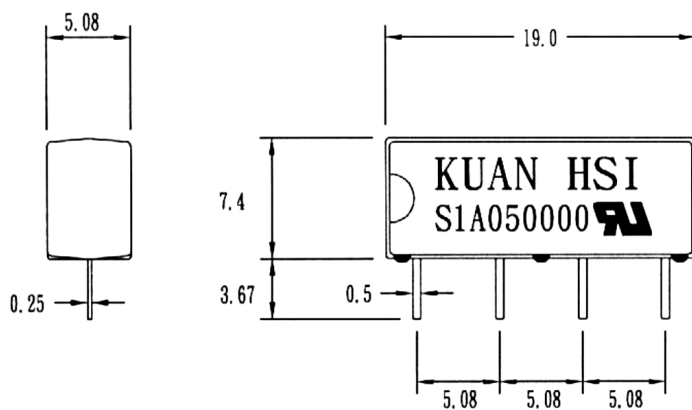


Obrázek 48: Vnitřní zapojení a rozložení pinů v poli ULN2803A [24]

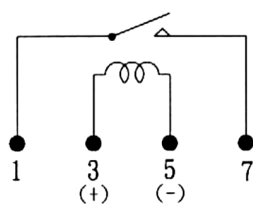
### 5.1.3 Relé

Pro přepínač realizovaný v této práci bylo zvoleno použití jazýčkových relé s DC cívkou. Teoretické informace o těchto relé jsou v části 2.2.2.2. Při výběru relé byl kladen důraz na jeho velikost a tvar z důvodu použití velkého množství relé na jedné desce (Obrázek 49). Některá relé do DPS mají vývody vyvedeny ze spodní části součástky a jiné z boků. Použití relé s vývody na bocích by bylo prostorově výrazně náročnější. Dalšími požadavky bylo napětí cívky z důvodu zachování jednotného napájecího napětí pro všechny elektronické součástky na desce, co nejmenší proudový odběr a cena. Pro realizaci přepínače bylo dle těchto parametrů vybráno jazýčkové relé s DC cívkou COSMO RELES1A 050 000 (tabulka 2). Jedná se o jazýčkové relé s jedním spínacím kontaktem (Obrázek 50). [25]

OUTSIDE DIMENSION : UNIT ( mm )



Obrázek 49: Rozměry relé COSMO RELES1A 050 000 [25]



Obrázek 50: Vnitřní zapojení relé COSMO RELES1A 050 000 [25]

Tabulka 2: Základní parametry COSMO RELES1A 050 000 [25]

Parametry cívky	
Jmenovité napětí cívky	5 VDC
Odpor cívky	500 $\Omega$
Proud cívky	10 mA
Přepínací parametry	
Čas přitahu	0,5 ms
Čas odpadu	0,2 ms
Odpor kontaktu	100 m $\Omega$
Maximální spínané napětí	200 VDC
Maximální proud při sepnutí	0,5 A

#### 5.1.4 Lokální blokovací kondenzátory

Kondenzátory označované jako lokální blokovací slouží k oddělení součástek (menších integrovaných obvodů), které jsou napájeny z jednoho napájecího zdroje v systému. Jedná se o lokální zdroj energie pro každou součástku pro případ výskytu impulzního odběru, které vznikají překlápěním logických úrovní. Kondenzátor tyto špičky pokrývá a zabraňuje vzniku rušení na napájecí větvi. Jako lokální blokovací kondenzátor je nejvhodnější použít keramický vysokofrekvenční kondenzátor. Tento kondenzátor by měl být umístěn co nejblíže k napájecím pinům integrovaného obvodu. Pro určení potřebné kapacity lokálního blokovacího kondenzátoru se vychází ze znalosti impulzního proudového odběru součástky  $I_{imp}$ , ke které je nutno tento kondenzátor přiřadit. Dále musí být známá nebo určitelná maximální přípustná změna napájecího napětí  $\Delta U_{nap}$  dané součástky. Poslední veličinou, která je potřeba pro výpočet je doba proudového impulsu  $t_{imp}$ . Tato doba je dána dobou náběžné nebo sestupné hrany proudového pulzu. Minimální kapacitu lze vypočítat podle vzorce 1. [26]

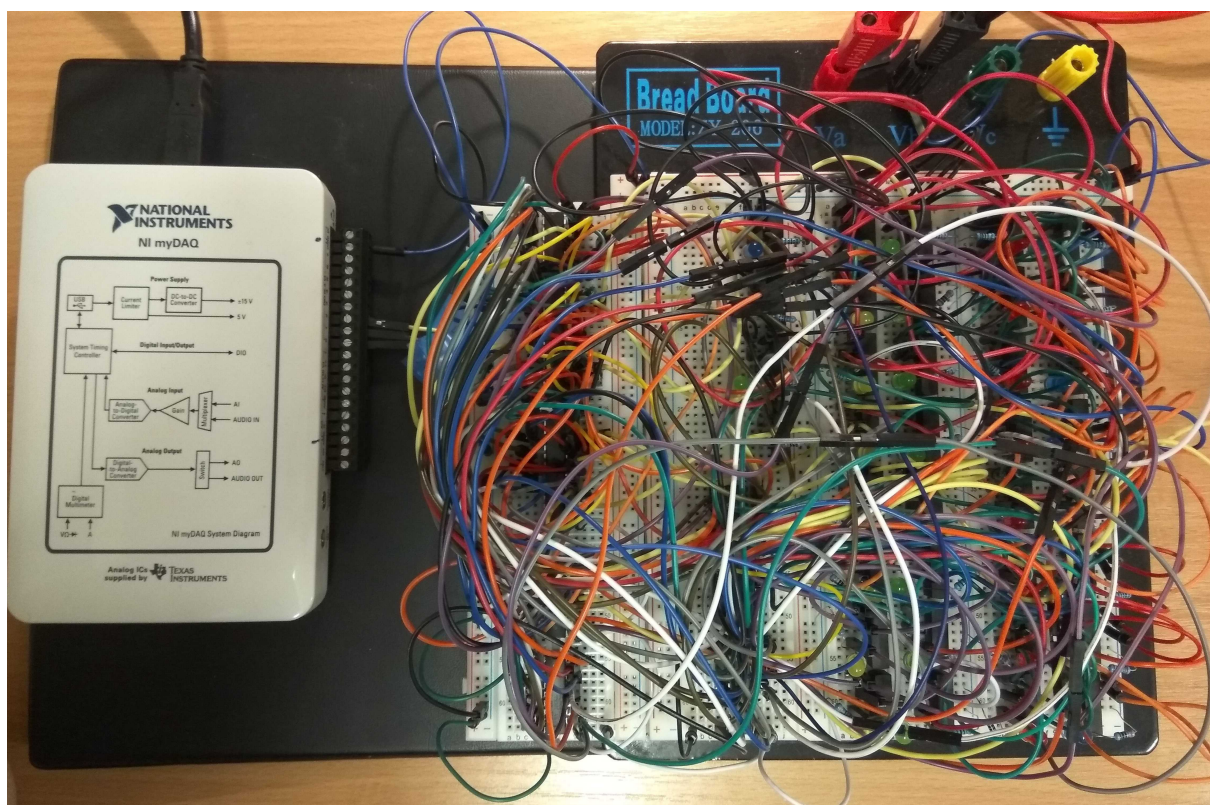
$$C_L \gg \frac{I_{imp} \cdot t_{imp}}{\Delta U_{nap}} [F] \quad (1)$$

U některých integrovaných obvodů lze hodnotu kapacity lokálního blokovacího kondenzátoru nalézt i v datasheetu příslušné součástky. V případě realizace zapojení pro tuto BP byly zvoleny blokovací kondenzátory dle datasheetu.

## 5.2 Návrh elektrického zapojení přepínače

Při návrhu elektrického zapojení byl kladen velký důraz na použití co nejmenšího počtu pinů DAQ karty. Z tohoto důvodu zde byly použity posuvné registry s jejichž pomocí je možno ovládat velké množství relé pouze třemi DO DAQ karty. Zapojení se skládá z pěti 8-bitových posuvných registrů zapojených sériově za sebou, což znamená, že jsme schopni do nich uložit až 40 bitů (popsáno v 5.1.1) a ty následně v jeden okamžik paralelně vyslat na výstupy posuvných

registrů. Napájecí piny všech posuvných registrů jsou opatřeny lokálními blokovacími kondenzátory. Výstupy posuvných registrů jsou přivedeny na vstupy tranzistorových polí, kterých byl v tomto zapojení použit stejný počet jako posuvných registrů. Pomocí těchto tranzistorových polí jsme schopni výstupy z posuvných registrů sepnout velké zátěže jako jsou například relé nebo krokové motory (popsáno v 5.1.2). Schéma elektrického zapojení přepínače je možno nalézt v příloze (Obrázek I). Seznam součástek použitých pro DPS přepínače je možno nalézt v příloze (tabulka I). Celkový postup návrhu byl v průběhu realizace postupně testován na nepájitvém poli (Obrázek 51).

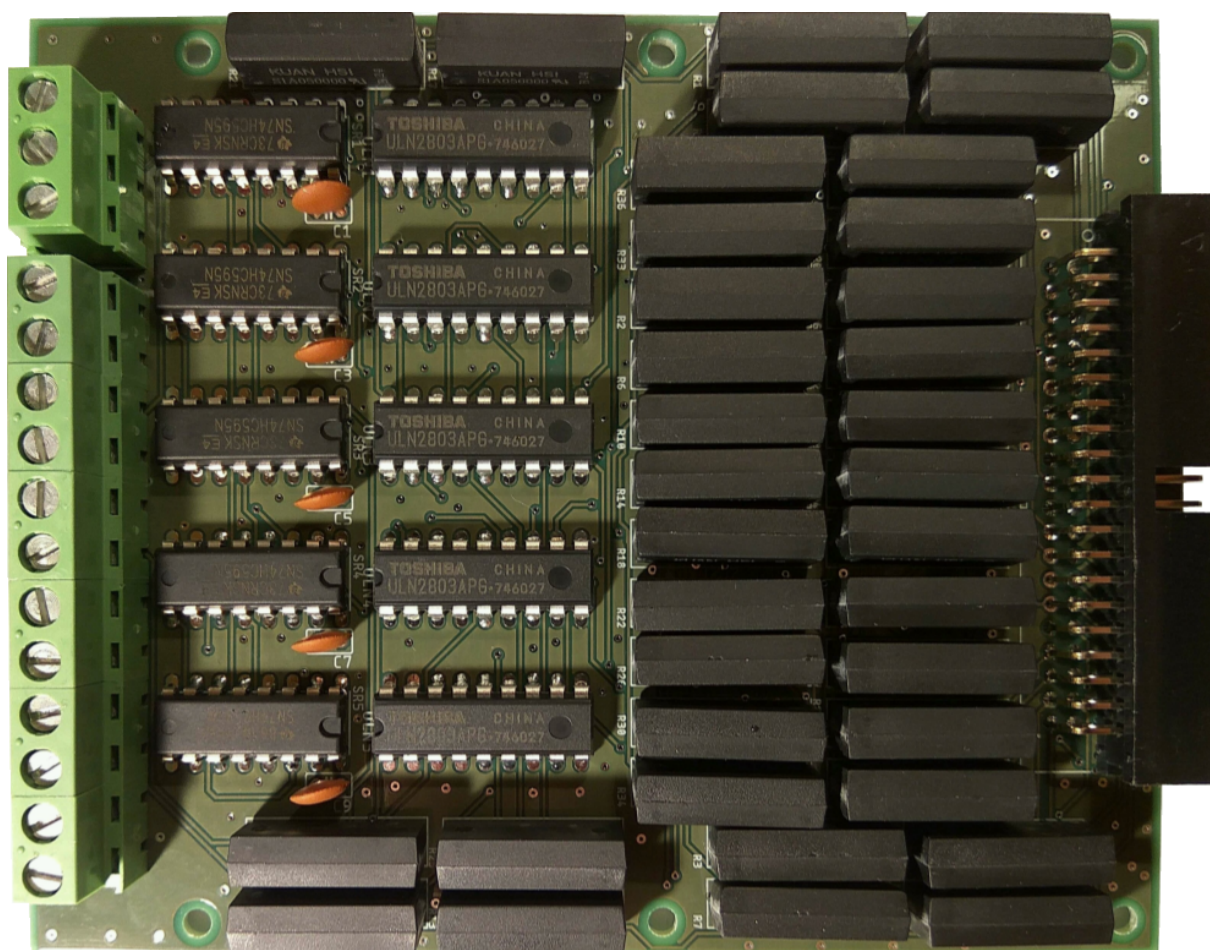


Obrázek 51: Testování návrhu přepínače na nepájitvém poli

### 5.3 Návrh a výroba DPS přepínače

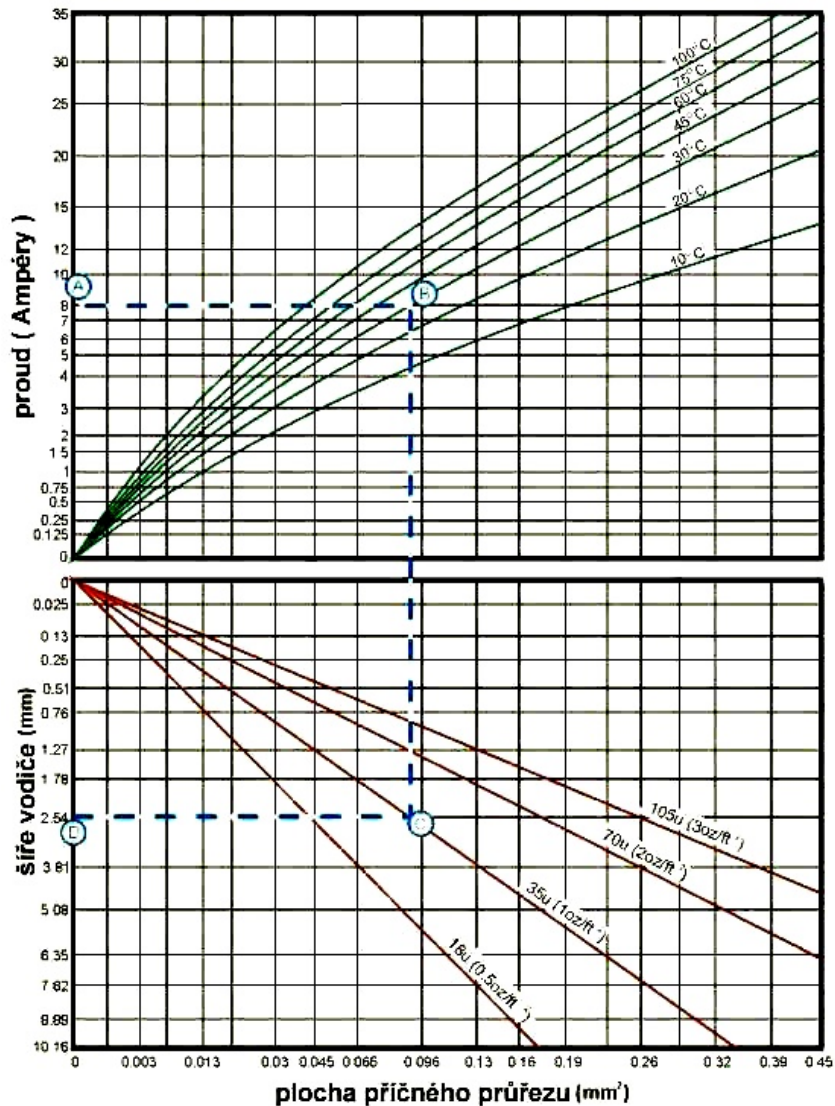
Deska plošných spojů multiplexerového přepínače byla navržena pomocí softwaru AUTODESK EAGLE. Pro zhotovení návrhu bylo nutné vytvořit vlastní knihovny některých symbolů a součástek společně s pouzdrem, které je fyzicky na DPS. První návrh DPS multiplexerového přepínače byl realizován pro dvouvrstvou desku. Po konzultaci byl návrh na dvouvrstvé desce přehodnocen a byl upřednostněn návrh na desce čtyřvrstvé. Tento krok byl uskutečněn zejména z důvodu velkého počtu součástek na malé ploše, které by mohly být zdrojem rušení a dále z důvodu značně necelistvě rozlité země při návrhu na dvou vrstvách. Při návrhu čtyřvrstvé desky byly zvoleny

vrstvy 1-TOP a 16-BOT jako vrstvy signálové, vrstva 2-IN2 jako GND a vrstva 15-IN3 jako VCC. Celková velikost desky je 100 x 120mm. Šířky cest byly zvoleny na hodnotu 0,3048mm, se stejně velkou izolační mezerou. Tato šířka byla zvolena dle (Obrázek 53) s dostatečnou rezervou pro dané elektrické zapojení. Při návrhu cest bylo snahou co nejvíce eliminovat vznik proudových smyček. Pro dosažení co největší eliminace možného rušení obsahuje deska velký počet prokovených otvorů mezi vrstvou GND a prázdnými místy v signálových vrstvách, pro dosažení maximální plochy rozlité země v obou signálových vrstvách. Z důvodu omezení rušení a vyzařování z krajů desky jsou také rozmístěny prokovené otvory kolem okrajů celé desky. Pro výrobu čtyřvrstvé desky přepínače byl zvolen materiál desky IS400 se skladbou 2x 1080 + jádro 1,2mm 35um Cu + 2x 1080 (celková tloušťka 1,5mm). Pro výrobu byl vybrán jednostranný servisní potisk a povrchová úprava H.A.S.L. Osazená DPS přepínače (Obrázek 52). DPS přepínače je s DPS 4xUUT propojena pomocí konektoru 2x20 pinů. Konektor s popsanými piny je možno nalézt v příloze (Obrázek III). Komponenty pro spojení DPS přepínače a DPS 4xUUT je možno nalézt v příloze (tabulka II).



Obrázek 52: Osazená DPS přepínače 100x120mm





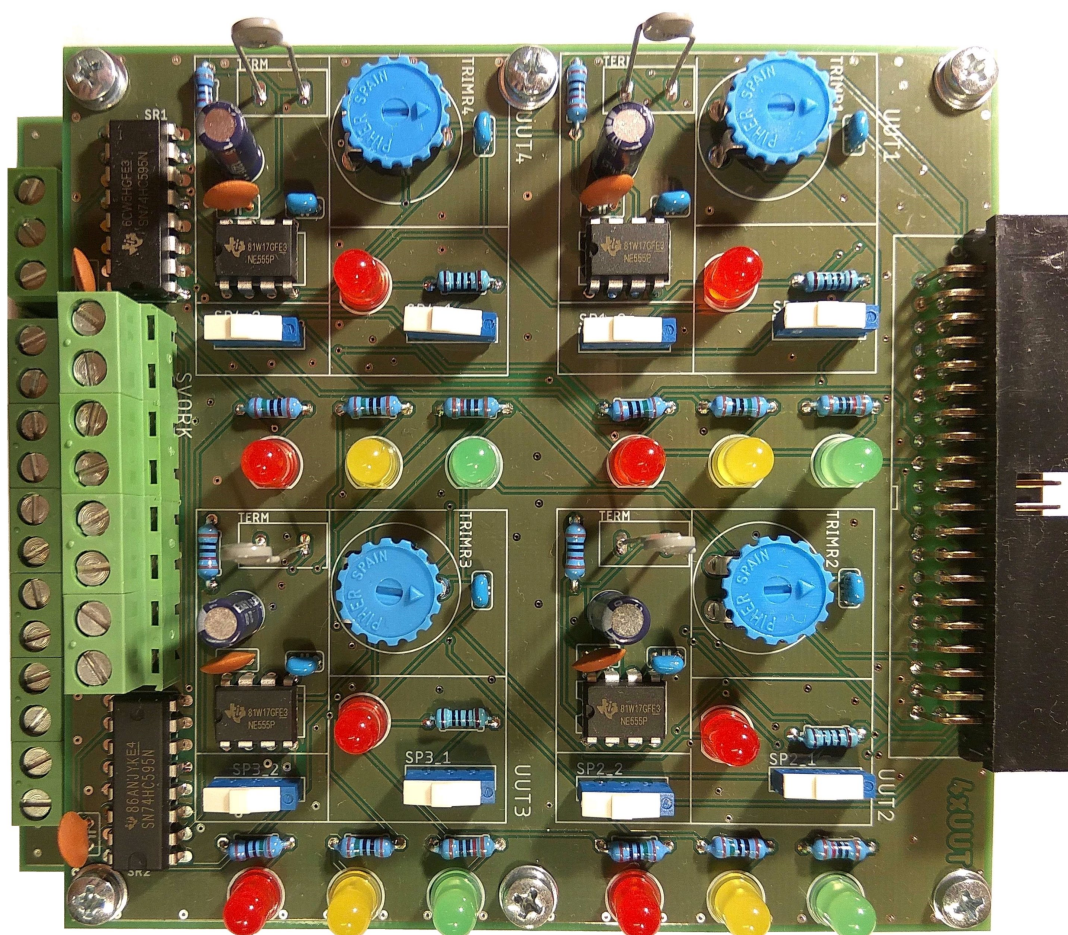
Obrázek 53: Graf pro výpočet proudové zatížitelnosti vodiče [27]

#### 5.4 Funkce přepínače

Přepínač je ovládán pomocí aplikace naprogramované v LabVIEW. Touto aplikací se vysílá sekvence binárních čísel do sériového vstupu posuvného registru, mezi jednotlivými čísly je vždy provedeno vyslání impulsu pro CLK posuvného registru. Je možno použít aplikaci s mapou spínačů, kde může uživatel zvolit libovolný počet a libovolnou sestavu relé a poté je současně sepnout (Obrázek 62). Varianta použitá v testeru je z velké části podobná, ale je zde předdefinováno několik polí datového typu bool, které se v průběhu testování přepínají aby bylo v určitý okamžik zaručeno spojení pouze konkrétních součástek s konkrétními vstupy/výstupy DAQ karty.

## 6 Testované moduly

Druhou DPS v této práci je dvouvrstvá deska obsahující testované moduly (Obrázek 37). Testované moduly jsou 4 a jsou totožné. Každý z nich obsahuje 4 odlišné elektronické součástky nebo jednoduché elektrické obvody. Tato deska obsahuje k testovaným modulům indikační LED. Ke každému testovanému modulu jsou přiřazeny 3 LED v barvách červená, zelená, žlutá. Tyto LED slouží k indikaci průběhu a výsledku přímo na daném HW, aniž by musela osoba obsluhující toto zařízení sledovat výsledky v počítači. Pokud je testování v běhu, svítí žlutá LED, po dokončení testování u každého z modulů svítí zelená nebo červená LED. Červená LED značí nefunkční modul a zelená funkční. Podrobnější informace o tom, která část modulu vykazovala v testu chybu je možné zjistit v testovací aplikaci. Testované moduly mají totožné složení a obsahují LED, filtr typu dolní propust, BERT a integrovaný obvod NE555 v zapojení jako astabilní klopný obvod v kombinaci s NTC termistorem jako převodník t/f (Obrázek 54). Schéma elektrického zapojení desky s testovanými moduly je možno nalézt v příloze (Obrázek II). Seznam součástek použitých pro DPS s testovanými moduly je možno nalézt v příloze (tabulka III).



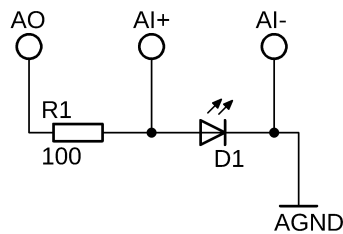
Obrázek 54: Osazená DPS 4xUUT 100x106mm

## 6.1 LED

První součástí na testovaném modulu je LED. Použita je červená LED 5mm (tabulka 3). Pro tuto LED byl dopočítán odpovídající odpor 100Ω zapojený do série (Obrázek 55). Cílem tohoto testu je změřit V-A charakteristiku LED a porovnat ji s daty z konfiguračních souborů, zda naměřená V-A charakteristika spadá do limitů, ve kterých je LED považována za funkční (Obrázek 68).

Tabulka 3: Parametry LED

U <sub>f</sub>	2,0V
I	20mA
I <sub>max</sub>	25mA

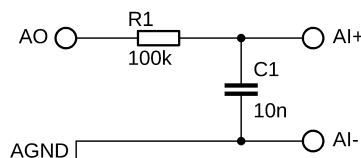


Obrázek 55: Zapojení pro měření LED

## 6.2 Filtř typu dolní propust

Dolní propust je realizována pomocí lineárního otočného trimru 0 - 100kΩ a keramického kondenzátoru 10nF (Obrázek 56). Účelem této dolní propusti je, aby ji test vyhodnotil jako správnou v případě, že je frekvence řezu 318Hz, což nastane pokud se nachází otočný trimr přibližně ve středové pozici (přibližně 50kΩ). V případě, že je trimr vychýlen ze středové pozice (kterýmkoliv směrem), změní se frekvence řezu této dolní propusti a test ji vyhodnotí jako chybnou. Výpočet frekvence řezu pro středovou polohu trimru viz. (vzorec 2).

$$\begin{aligned}
 f_0 &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} \quad [Hz] \\
 f_0 &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50000 \cdot (10 \cdot 10^{-9})} \quad [Hz] \\
 f_0 &= 318.3099 Hz
 \end{aligned} \tag{2}$$

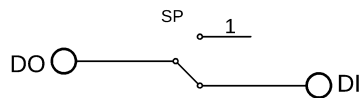


Obrázek 56: Zapojení pro měření dolní propusti



### 6.3 BERT

Bit Error Rate Test v tomto zapojení je část, která obsahuje pouze posuvný spínač. Na vstup je vyslána sekvence bitů a na výstupu je kontrolováno, zdali dorazila stejná sekvence jako byla vyslána. Toto zapojení slouží k nasimulování situace, ve které je nutné zkontrolovat průchodnost nějaké části elektrického obvodu a přepnutím přepínače do další polohy simulovat přerušení dané cesty (např. přerušená cesta na DPS, přerušený vodič, atd.) (Obrázek 57).



Obrázek 57: Zapojení pro test BERT

### 6.4 Převodník teploty na frekvenci

Tato část obsahuje převodník t/f, realizovaný integrovaným obvodem NE555 v zapojení jako astabilní klopný obvod s NTC termistorem (ve výpočtech reprezentován jako odpor  $R_2$ ). Integrovaný obvod NE555 v astabilním zapojení pracuje jako multivibrátor. Na svém výstupu generuje pravidelný obdélníkový průběh. Po připojení napájecího napětí k tomuto obvodu se kondenzátor  $C\_POL$  začne nabíjet přes rezistory  $R_1$  a  $R_2$ . Během tohoto procesu je na výstupním pinu 3 Log.1. Vstupy 2 a 6 v tomto zapojení slouží ke kontrole napětí na kondenzátoru  $C\_POL$ . V okamžiku, kdy napětí na  $C\_POL$  dosáhne  $2/3 V_{cc}$  se RS klopný obvod resetuje a na výstupu se objeví log.0. Dále dojde k sepnutí tranzistoru uvnitř NE555 a spojení pinu 7 s pinem 1. Toto způsobí, že se kondenzátor poté přes rezistor  $R_2$  vybíjí do doby, než jeho napětí klesne na hodnotu  $1/3 V_{cc}$ . Poté se RS klopný obvod překlopí a na výstupu se objeví log.1. Dojde k uzavření tranzistoru a tedy rozpojení mezi pinem 7 a pinem 1. Po rozpojení opět probíhá nabíjení kondenzátoru přes  $R_1$  a  $R_2$ . a tento cyklus se opakuje do doby, dokud je připojeno napájecí napětí. (obrázek 58) [29]

V tomto astabilním zapojení byly zvoleny hodnoty  $R_1 = 10k\Omega$ , termistor  $R_2 = 10k\Omega$ , kondenzátor  $C\_POL = 10\mu F$ ,  $C_1 = 10nF$ ,  $C_2 = 100nF$ . Důpočet parametrů viz. (vzorec 3, 4, 5, 6).

$$\begin{aligned} T_h &= 0.7 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C\_POL \quad [s] \\ T_h &= 0.7 \cdot (10000 + 10000) \cdot 10 \cdot 10^{-6} \quad [s] \\ T_h &= 0.14s \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} T_l &= 0.7 \cdot R_1 \cdot C\_POL \quad [s] \\ T_l &= 0.7 \cdot 10000 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \quad [s] \\ T_l &= 0.07s \end{aligned} \tag{4}$$



## 7 LabVIEW

LabVIEW je platforma pro návrh systému a vývojové prostředí pro grafický programovací jazyk od National Instruments. Tento jazyk se označuje zkráceně také jako G jazyk nebo anglicky Graphical Language. Ve srovnání s běžně používanými programovacími jazyky jako například java, C# nebo C++ se tento jazyk již na první pohled výrazně liší. V tomto jazyku se neprogramuje textovým kódem, ale sestavováním programů z různých funkčních bloků, které se propojují vodiči. Tato forma programování se bude pravděpodobně uživatelům, kteří nemají zkušenosti z jiných, výše zmíněných programovacích jazyků, chápát výrazně jednodušeji než kterýkoli z textových programovacích jazyků. G jazyk svou formou spíše připomíná vývojový diagram než běžně používané programovací jazyky. [31] [32] [33]

### 7.1 Programování

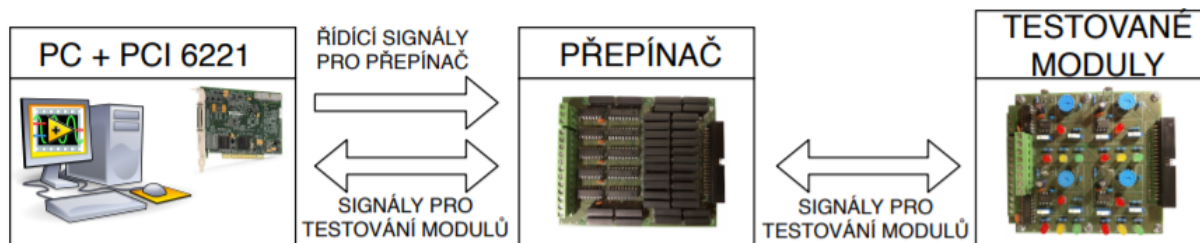
Při programování jsou programátorovi k dispozici dvě okna. Jedním je Front Panel a druhým Block Diagram. Front Panel je okno, které je obrazem toho, jak aplikaci uvidí finální uživatel a může obsahovat různé ovládací prvky, numerické, booleovské, různá tlačítka, otočné knoflíky, nebo textové panely do kterých může uživatel psát. Stejně tak tento panel může obsahovat různé typy grafů, indikátorů a spousty dalších prvků jako jsou například designové plochy. Tento panel slouží k interakci s uživatelem. Může po uživateli požadovat zadání hodnot, nastavení rozsahů a spoustu dalších informací, ale také uživateli dává informace o naměřených hodnotách, vypočítaných hodnotách nebo informace o úspěšném připojení k nějakému jinému HW atd. Front Panel můžeme tedy z programátorského hlediska označit jako GUI a s ohledem na to by měl být také proveden. Měl by být pro koncového uživatele přehledný, ne příliš šléný co se týče barevných kombinací a měl by obsahovat jen to, co koncového uživatele opravdu bude zajímat. Druhé okno, které se po spuštění LabVIEW objeví je Block Diagram. Block Diagram vidí pouze programátor a slouží k samotnému programování. V tomto okně je možno pomocí funkčních bloků programovat od jednoduchých početních funkcí přes komunikace za pomoci komunikačních karet nebo měření pomocí měřících karet až po složité výpočetní úkony například s velkými poli naměřených hodnot ze senzorů. Rozmanitost funkcí, které LabVIEW obsahuje, je opravdu velká. Tuto pestrou škálu základních funkcí, které LabVIEW obsahuje je možné rozšířit o různé typy dalších výrazně specifitějších toolkitů a přídatných modulů. Jako například NI Vision Builder AI Development Toolkit nebo LabVIEW Biomedical Toolkit a spousty dalších specificky zaměřených doplňkových SW. Po naprogramování a nadesignování se tyto dva panely uloží společně jako jeden soubor s příponou VI, neboli Virtual Instrument.

Pro programování v tomto programovacím prostředí se nabízí programátorovi spousta palet jako jsou Programming, Mathematics, Connectivity a další, které se poté větví dále. Funkčních bloků je zde opravdu nepřehledné množství, ale seřazení a rozložení jednotlivých bloků do sekcí je logické a základní funkce není problém nalézt během pár kliků. Mimo toto rozřazení nabízí LabVIEW i Search Palette, kde je možné vyhledávat pomocí psaní názvů požadovaných funkcí.

Programování v LabVIEW se odlišuje také svým průběhem programu. Ve většině standartních programovacích jazyků se vykonávají instrukce nebo příkazy v pořadí v jakém byly napsány. V LabVIEW se části kódu, funkční bloky nebo SubVI vykonávají okamžitě, jakmile mají na svém vstupu všechny požadované hodnoty. Řízení posloupnosti vykonávání v LabVIEW je možné několika způsoby, nejběžnějšími jsou Flat Sequence a Error Cluster. Existuje několik pravidel, které LabVIEW nikterak nehlídá ani netrestá, ale je vhodné je dodržovat pro zachování čitelnosti kódu i pro jiné programátory. Kód by neměl být větší než jsou běžně užívané velikosti monitorů se standartním rozlišením. V případě složitějšího kódu je nutné tvořit tzv. SubVI. SubVI je část programu, která je sloučena do jednoho funkčního bloku a nezabírá tak moc místa a výrazně zpřehledňuje kód. Dvojklikem na tento blok je možné se podívat dovnitř, tudíž pro programátora není nikterak omezující. Druhé pravidlo se týká vstupů a výstupů jednotlivých funkčních bloků a SubVIs a to tak, že vstupy do bloků by měly být vedeny vždy zleva nebo ze shora a výstupy by měly vycházet z bloku doprava nebo dolů. Celkově by datový tok v programu měl jít ze shora dolů a zleva doprava. [31] [32] [33]

## 7.2 Rozdělení SW části

Tato bakalářská práce je vytvořena tak, aby bylo možno přepínač oddělit od testovaných modulů a použít jej samostatně pro jiné účely. K tomuto přípravku jsou implementovány dva programy. Prvním z nich je program, který slouží pouze k ovládání přepínače pomocí DAQ karty a neobsahuje žádné další funkce a druhým je program obsahující upravený program pro ovládání přepínače a další části, které zajišťují veškeré testování testovaných modulů a ovládání indikačních LED na desce s testovanými moduly (Obrázek 59).

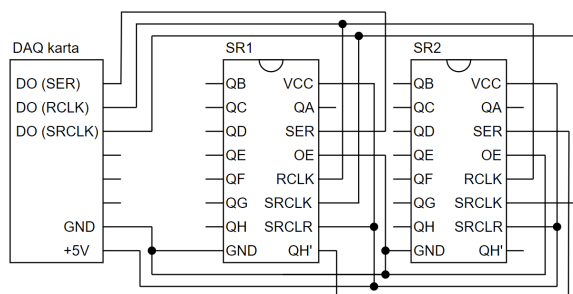


Obrázek 59: Blokové schéma propojení jednotlivých částí testeru [28][37]

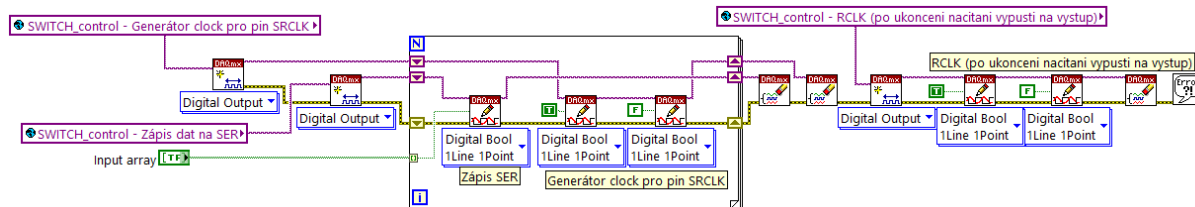
## 7.3 Program pro ovládání přepínače

Program pro ovládání přepínače (Obrázek 61) kopíruje funkci posuvného registru (popsáno v 5.1.1). K ovládání přepínače slouží 3xDO (Obrázek 60), jeden slouží k zápisu dat na pin SER posuvného registru, další slouží jako generátor hodin pro pin SRCLK posuvného registru a posledním digitálním výstupem je výstup na pin RCLK, kterým se provede vyslání všech bitů zároveň z posuvných registrů na jejich výstupy (Obrázek 46). Sepnutím tlačítek na front panelu (Obrázek 62), které odpovídají uzlům přepínače, je uživatelem vytvořeno boolean pole.

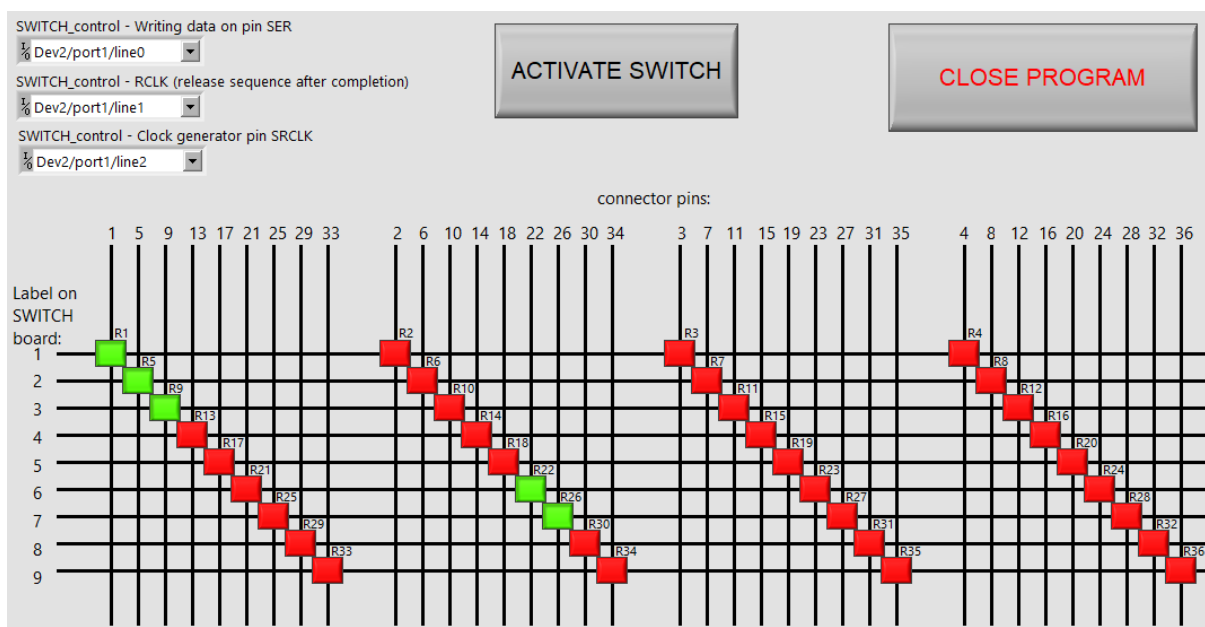
Po spuštění programu se provádí cyklus, při kterém se vždy pošle jeden bit z boolean pole na pin SER, následně se pošle impuls na pin SRCLK, čímž se provede posuv uvnitř posuvného registru. Tento cyklus se provádí 36x, protože přepínač obsahuje 36 uzlů. Po proběhnutí všech 36 cyklů následuje puls na pin RCLK, který uvolní všechny data v posuvných registrech na výstupy v jeden okamžik.



Obrázek 60: Propojení DAQ karty s posuvnými registry



Obrázek 61: Program pro ovládání přepínače



Obrázek 62: Front Panel programu pro ovládání přepínače

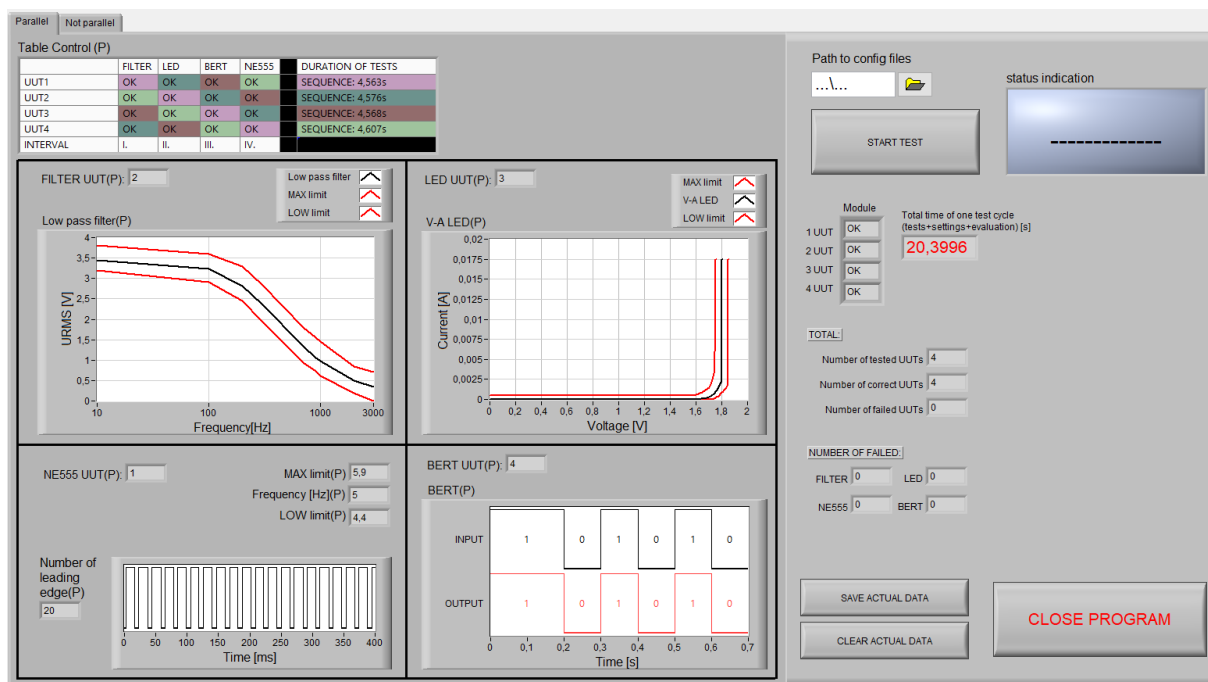
## 7.4 Ovládání indikačních LED

Indikační LED jsou ovládány pomocí posuvných registrů. Ovládání je totožné s ovládáním přepínače 7.3. Pro ovládání indikačních LED je použit stejný kód jako pro ovládání přepínače (Obrázek 61), pouze je na jeho vstup připojeno boolean pole odpovídající aktuální situaci (probíhající testování nebo dokončené testy s výsledky) a jsou pro ovládání indikačních LED využity jiné DO DAQ karty. Při spuštění testování je na vstup tohoto VI vysláno boolean pole, které rozsvítí žluté LED a po dokončení testování je z výsledků jednotlivých modulů vytvořeno boolean pole, které místo žlutých LED rozsvítí u každého z testovaných modulů červenou nebo zelenou LED podle toho, zda je modul bezchybný nebo ne.

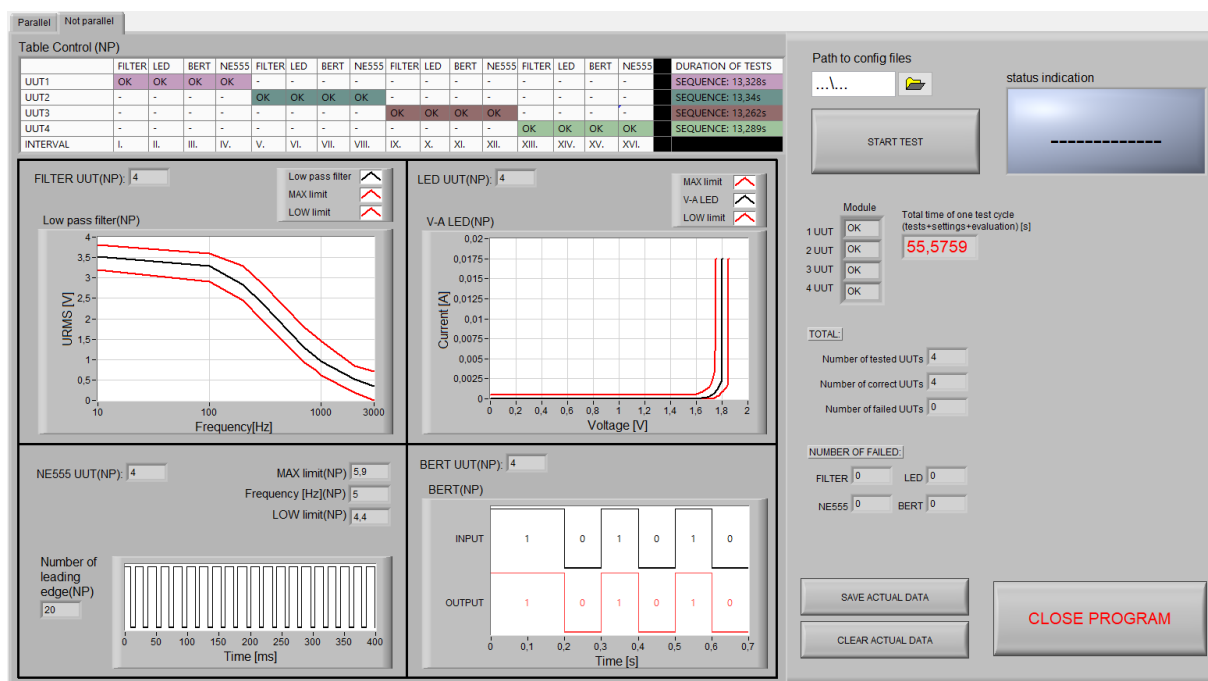
## 7.5 Programování jednotlivých testů a GUI

Pro testování součástek a obvodů na desce bylo využito 2x AO, 2x AI, 1x DO a 2x DI. 1x AO + 1x AI pro test LED, 1x AO + 1x AI pro test dolní propusti, 1x DO + 1x DI pro test BERT a 1x DI pro test převodníku t/f (Obrázek 38). Všechna data potřebná k testování, jako testovací frekvence, napětí, limitní hodnoty napětí, proudu, frekvence atd. jsou přebírána z inicializačních souborů. Díky využití inicializačních souborů je možné změnit parametry testů, jejich krajní limity pro úspěšný průběh testu, aby byl test použitelný například pro test jiné LED, aniž by bylo nutné zasahovat do programu. Uživatel pouze přepíše data v inicializačním souboru. Přepsání inicializačního souboru je možné například v poznámkovém bloku, nebo programu MS excel. Výsledky testů jsou zobrazeny na čelním panelu pro uživatele formou výpisu OK/NOK pro každou testovanou jednotku na každém testovaném modulu. V průběhu testování na Front Panelu svítí zeleně indikátor stavu s nápisem IN PROGRESS PLEASE WAIT.

Pro co největší znázornění rozdílu mezi paralelním a neparalelním testováním je na Front Panelu možno přepnout do režimu paralelního testování (Obrázek 63), nebo do režimu neparalelního testování (Obrázek 64). Testy v paralelním a neparalelním režimu jsou prováděny stejnými testovacími SubVI. Rozdíl je pouze v závislosti těchto SubVI. V paralelním testování běží všechny tyto testovací SubVI zároveň a v neparalelním testování jsou provázány Error Clusterem a vykonávají se postupně. Při testování je uživateli graficky zobrazováno poslední testování na každém druhu součástek s označením o který testovaný modul se jedná. Před spuštěním samotného testování je nutné zvolit cestu k inicializačním souborům. V případě, že cesta není zvolena a uživatel se pokusí spustit test, vyskočí dialogové okno s upozorněním, že cesta k inicializačním souborům není zadána. Dále aplikace ukazuje uživateli informace o dosavadním testování. O celkovém počtu testovaných modulů, počtu funkčních modulů, počtu nefunkčních modulů a počtu nefunkčních filtrů, LED, převodníků t/f a BERT. Mezi testováními je možno uložit a nebo smazat aktuální data, které zahrnují celkový počet testovaných modulů, počet funkčních modulů, počet nefunkčních modulů a počet nefunkčních filtrů, LED, převodníků t/f a BERT. Posledním tlačítkem je ukončení programu, které zavře celé okno. V případě, že nejsou uložena data, tak je při pokusu o ukončení nabídnuto uživateli zda chce data uložit.



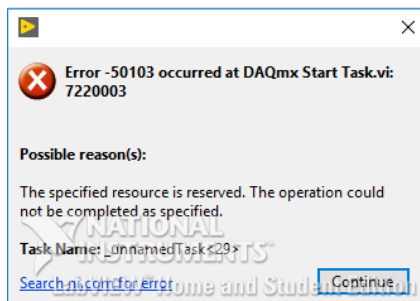
Obrázek 63: Front Panel testovací aplikace pro paralelní testování



Obrázek 64: Front Panel testovací aplikace pro neparalelní testování

### 7.5.1 Test LED + filtr typu dolní propust

Při programování testu pro LED a filtr typu dolní propust bylo nutné skrz neočekávanou chybu, související s nemožností paralelního přístupu k dvojicím analogových výstupů a analogových vstupů (Obrázek 65), důkladněji prostudovat HW měřících karet.



Obrázek 65: Chyba přístupu k AO

Z důvodu, že je tato bakalářská práce zaměřena na demonstraci paralelního testování, je potřebné přistupovat ke kanálům AO0, AO1 a AI0, AI1 paralelně. Společnost NI vyrábí několik sérií DAQ karet a ne všechny podporují paralelní přístup ke dvěma a více analogovým vstupům a výstupům zároveň. Společnost NI rozlišuje zařízení do sérií:

- NI X Series for USB, PCI Express, and PXI Express
- M Series for USB, PCI, and PXI
- S Series
- R Series multifunction RIO

Při vypracovávání této bakalářské práce jsem pracoval se zařízeními NI myDAQ, USB-6212 s cílem tuto bakalářskou práci implementovat pro výuku virtuální instrumentace do učebny, kde jsou v počítačích použity DAQ karty PCI-6221. Všechny tyto karty jsou karty ze série M. Jedná se tedy o karty multiplexované. Žádná z multiplexovaných karet, které jsou vyráběny společností NI není schopna spustit proces s více než jedním analogovým vstupem a jedním analogovým výstupem současně z důvodu, že všechny kanály potřebují v jeden okamžik použít stejný kanál multiplexeru a vzorkovací hodiny. Tohoto jsou schopny pouze DAQ zařízení ze série S, R a některé produkty ze série X. Zařízení z těchto sérií mají vyhrazené analogově digitální převodníky pro každý kanál a nemusí tedy kanály multiplexovat. U karet používaných v této práci není tedy možný paralelní přístup k požadovaným I/O, protože nelze použít jeden HW v jeden okamžik pro dvě různé operace. Aby bylo možné provádět vícekanálové získávání nebo generování, musí být všechny kanály zahrnuty do jednoho stejného tasku se stejnými časovými parametry pro všechny kanály. Tímto způsobem bylo vyřešeno generování a získávání signálu pro LED a dolní propust.



Testovací data, která udávají při jakých hodnotách frekvence se má testovat dolní propust, při jakých hodnotách napětí se má testovat LED a jaké jsou mezní limity těchto testů, jsou získávány z inicializačních souborů (Obrázek 66) (Obrázek 67).

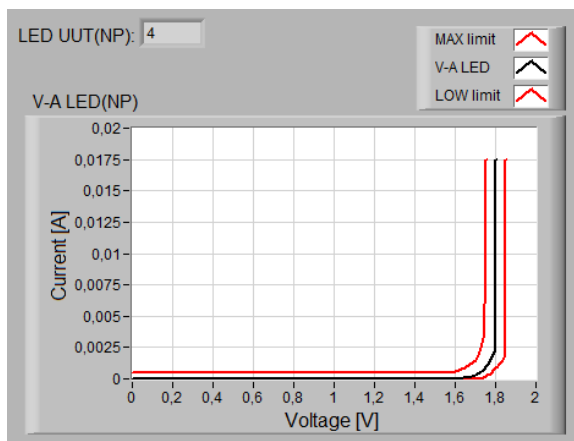
[Filter]									
f[Hz]	=10	100	200	300	700	900	1000	2000	3000
max[V]	=3,80	3,60	3,30	2,85	1,80	1,57	1,45	0,85	0,70
min[V]	=3,20	2,90	2,45	1,95	0,93	0,75	0,62	0,20	0,00

Obrázek 66: Frekvence pro testování dolní propusti a mezní limity Urms

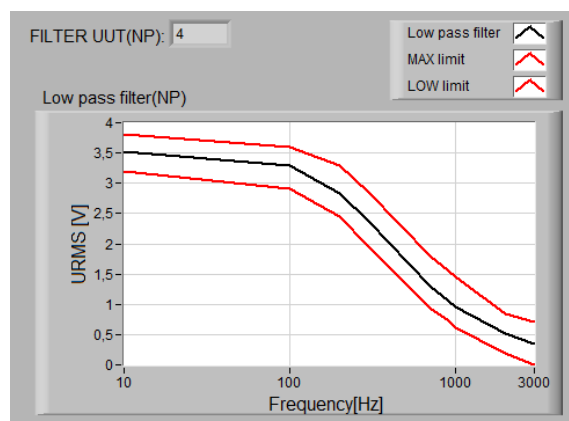
[LED]									
U[V]	=	1E-3	0,6	1,5	1,55	1,6	1,65	1,7	1,715
Imin[A]	=	1E-6	1E-6	1,5E-6	2,5E-6	3,2E-6	4,0E-6	4,3E-6	4,7E-6
Imax[A]	=	4,4E-4	4,4E-4	4,4E-4	4,8E-4	6,0E-4	9,0E-4	1,5E-3	1,9E-3

Obrázek 67: Hodnoty napětí pro test LED a mezní limity proudu

Na vstup dolní propusti se vysílá sinusový signál o frekvencích zvolených v inicializačním souboru. Na vstup LED se vysílá rampa od 0 do 3,55V. Z důvodu nemožnosti přístupu ke dvěma AO současně, jsou tyto data spojeny do jednoho 2D pole a zapisovány pomocí jednoho bloku DAQmx Write. Časování je zde řešeno pomocí funkce DAQmx Timing se zvolenou vzorkovací frekvencí 16000 vzorků za sekundu. Stejným způsobem je prováděno i čtení dat na výstupu dolní propusti a LED. Data získána ve formě 2D pole se rozdělí do dvou 1D polí, které jsou již zpracovávány samostatně. Z dat naměřených na dolní propusti se vypočte RMS hodnota, která je následně porovnávána s limitními hodnotami z inicializačního souboru. Data naměřená na LED odpovídají hodnotám napětí na LED. Z těchto hodnot napětí, hodnot vstupního napětí a hodnoty rezistoru zapojeného v sérii s touto LED je dopočítán proud LED. Mezi naměřenými hodnotami napětí jsou hledány hodnoty napětí zvolené v inicializačním souboru, ke kterým jsou přiřazeny limitní hodnoty proudu. Následně je provedeno porovnání, zdali jsou naměřená data na LED v odpovídajících mezích. Z naměřených dat je pro uživatele vytvořen výstup ve formě výpisu OK/NOK. Po každém vykonaném testu je uživateli zobrazen i grafický výsledek testu. U LED se jedná o V-A charakteristiku vykreslenou jako X-Y graf (Obrázek 68). Červené křivky značící limitní hodnoty jsou vykresleny z dat získaných z inicializačního souboru pro LED (Obrázek 67). V tomto obrázku je to 12 bodů pro vykreslení křivky maximálního limitu a 28 bodů pro vykreslení křivky minimálního limitu. Zelená křivka je vždy vykreslena z 8000 bodů, které odpovídají hodnotám získaným při měření. U dolní propusti se jedná o charakteristiku Urms v závislosti na frekvenci vykreslenou také jako X-Y graf (Obrázek 69). Zde jsou všechny křivky vykresleny ze stejného počtu bodů. V tomto obrázku se jedná o 8 bodů pro každou křivku. Počet bodů je určen počtem frekvencí, při kterých jsou testy prováděny. Tyto frekvence jsou zvoleny v inicializačním souboru pro dolní propust (Obrázek 66).



Obrázek 68: Grafický výstup testu LED



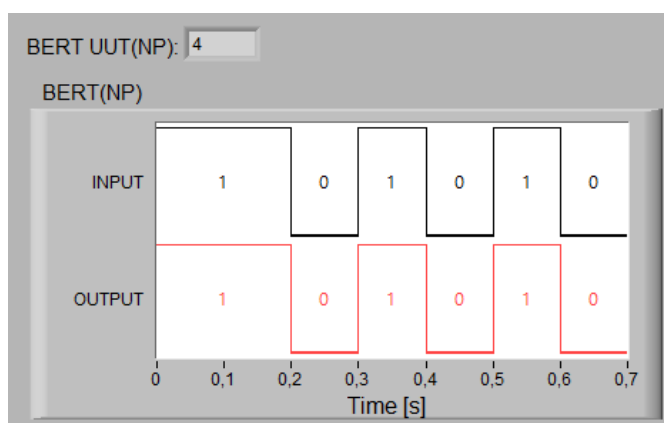
Obrázek 69: Grafický výstup testu filtru

### 7.5.2 Test BERT

Pro tento test je použit 1x DI a 1x DO. Test spočívá ve vyslání sekvence bitů digitálním výstupem do testovaného prvku a následnou kontrolou, zda za testovaným prvkem na digitální vstup tato sekvence doputovala. Sekvence bitů je zvolena v inicializačním souboru (Obrázek 70). Bity jsou jednotlivě vysílány a přijímány, toto vysílání a příjem je SW časováno pomocí funkce Wait until next milisecond Multiply na hodnotu 100ms. Po vyslání a přijetí všech bitů je zkontrolováno, jestli jsou tyto sekvence shodné. Grafický výstup pro uživatele je vytvořen pomocí Digital Waveform Graph, který zobrazuje vstupní a výstupní bity v čase (Obrázek 71).

[BERT]  
bit sequence = "1101010"

Obrázek 70: Testovací sekvence bitů pro BERT



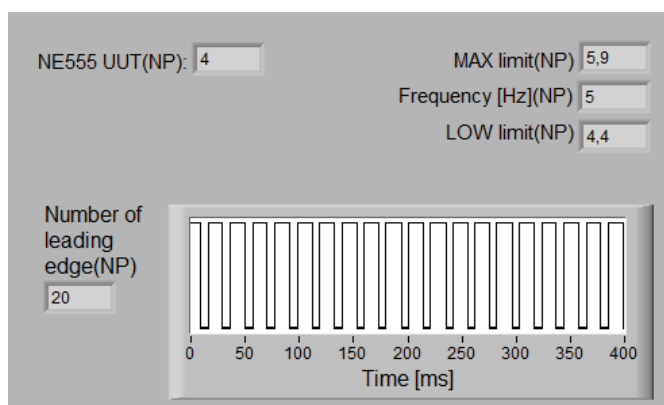
Obrázek 71: Grafický výstup testu BERT

### 7.5.3 Test převodníku teploty na frekvenci

K tomuto testu je použit jeden DI. Po připojení obvodu NE555 k napájecímu napětí začne tento integrovaný obvod generovat obdélníkový signál. Pro kontrolu správné funkčnosti je provedeno vyčtení hodnoty každých 10ms do doby než načteme 400 hodnot. Při čtení se provádí hledání náběžných hran. Počet těchto hran určuje počet period v daném měření. Čas měření je roven násobku času mezi jednotlivými vzorky a počtem vzorků. V případě tohoto testu je to 4000ms. Tento čas je následně vydělen naměřeným počtem period. Výsledkem je perioda v ms, která je převedena na sekundy a následně je z ní vypočítána frekvence, která je porovnána s limitními hodnotami získanými z inicializačního souboru (Obrázek 72). Grafickým výstupem z tohoto testu je Digital Waveform Graph, který vykresluje obdélníkový signál za celý čas měření (Obrázek 73).

[NE555]  
fmax[Hz] = 5,9  
fmin[Hz] = 4,4

Obrázek 72: Inicializační soubor pro test převodníku t/f



Obrázek 73: Grafický výstup testu převodníku t/f

## 8 Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit laboratorní úlohu pro demonstraci možností zvýšení časové efektivity testování elektronických výrobků za pomoci paralelního běhu testů a automatizovaného přepínání měřících přístrojů mezi testovanými výrobky.

Výsledkem této práce je plně funkční demonstrační verze testeru pro paralelní testování elektronických výrobků.

První částí testeru je multiplexerový přepínač, který slouží k přepínání testovacích signálů mezi jednotlivými testovanými moduly. Při návrhu bylo rozhodováno mezi realizací multiplexerového nebo maticového přepínače, ale ačkoli by byl maticový přepínač výrazně univerzálnější tak jeho cena by několikanásobně převyšovala cenu multiplexerového přepínače a byl tedy zvolen přepínač multiplexerový. Přepínač je realizován na čtyřvrstvé desce z důvodu obav z možného rušení. Tento přepínač byl navržen tak, aby bylo možné jej oddělit od ostatních částí zařízení a použít jako samostatný kus HW i v dalších projektech nebo studentských pracích.

Další částí jsou testované moduly, při jejichž návrhu byl kladen důraz na co největší možnost interakce s osobou, která bude s touto demonstrační úlohou pracovat. Změnu parametrů filtru je možné provést otočným trimrem, změnu frekvence obdélníkového signálu generovaného integrovaným obvodem NE555 je možné provést pomocí ohřátí termistoru (znatelné změny lze docílit i ohřátím pomocí stisku prstů lidské ruky). Při testování LED na uživatele tato LED bliká. Pro vytvoření chyby lze tuto LED zkratovat pomocí posuvného spínače. U BERT je možno vytvořit chybu posuvným spínačem, kterým lze nasimulovat přerušování cesty nebo vodiče. Pro předání informací o průběhu testů a jejich výsledků je použito indikačních LED, které dávají aktuálně svítící barvou uživateli vědět, zda testy dopadly úspěšně, neúspěšně, nebo stále ještě běží, aniž by byl uživatel nucen dívat se do testovací aplikace.

Aby bylo možné použít přepínač i samotný, byl vytvořen jednoduchý program, který slouží pouze pro ovládání přepínače. V tomto programu stačí pouze na interaktivní mapě vytvořené v programovacím prostředí LabVIEW zaklikat relé, které chceme sepnout a aplikaci spustit. Toto jednoduché ovládání otevírá možnost pro použití i studenty, které samotný přepínač a jeho funkce nezajímá, ale je pro ně tento přepínač vhodný jako prostředek pro realizaci vlastního projektu.

Druhá aplikace, která je již o něco složitější zahrnuje mimo samotné přepínání i testování HW jednotek na testovaných modulech a ovládání indikačních LED. Uživatelské prostředí aplikace je řešeno tak, aby na uživatele působilo co nejprehledněji a zároveň dalo uživateli jednoduchou a zajímavou formou všechny informace o průběhu testování. Tato aplikace byla rozdělena na dvě záložky, kde první vykonává testování HW jednotek paralelně a druhá neparalelně. V záložce s paralelním testováním se uživateli s poměrně malým časovým rozestupem zobrazují vždy 4 výsledky testu současně (1 testovaná jednotka na každém modulu) oproti tomu při neparalelním testování se uživateli zobrazují výsledky vždy po jedné testované jednotce a uživatel pracující s tímto testerem pocítí v reálném čase o kolik je neparalelní testování pomalejší a jak velká

síla pro průmyslové testování se v možnostech paralelního testování skrývá. Test všech čtyřech testovaných modulů v režimu s paralelním testováním trvá přibližně 21 vteřin a test všech čtyřech testovaných modulů v režimu s neparalelním testováním trvá přibližně 55 vteřin. Po dokončení testování uživatel dostane časovou hodnotu, jak dlouho celý test trval, kolik modulů je vadných, které konkrétní součástky byly vadné atd.

Testovací data jsou přebírána z inicializačních souborů a je možno je tedy jednoduše změnit v poznámkovém bloku nebo programu MS Excel. Můžeme například změnit při jakých hodnotách frekvencí se má testovat filtr a jakou má mít při těchto hodnotách frekvence maximální nebo minimální hodnotu Urms. Dále je možné změnit maximální a minimální limity proudu LED při konkrétním napětí, upravit vstupní sekvenci bitů pro BERT nebo změnit limity pro frekvenci převodníku t/f. Všechny tyto změny tedy může provést kdokoli, aniž by musel zasahovat do programu.

## Literatura

- [1] N-Wire Switching Modes - NI Switches Help. Automated Test and Automated Measurement Systems - National Instruments [online]. Austin, Texas, United States: National Instruments, c2019, April 2015 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/375472H-01/switch/xwire/>
- [2] PXI Switch Modules: PXI Matrix Switch Modules [online]. Austin, Texas, United States: National Instruments, 2017 [cit. 2018-11-02]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/product-flyers/pxi-switch-modules.pdf>
- [3] NI PXI/PXIe-2532B. A Global Leader in Automated Test and Automated Measurement Systems [online]. Austin, Texas, United States: National Instruments, c2019 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/375828b.pdf>
- [4] PXI Switch Modules: PXI Multiplexer Switch Modules [online]. Austin, Texas, United States: National Instruments, 2017 [cit. 2018-11-02]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/product-flyers/pxi-switch-modules.pdf>
- [5] NI PXI-2503. A Global Leader in Automated Test and Automated Measurement Systems [online]. Austin, Texas, United States: National Instruments, c2019, April 2016 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/manuals/373533g.pdf>
- [6] Switch Types and Common Terminology [online]. Austin, Texas, United States: National Instruments, 2018 [cit. 2018-11-02]. Dostupné z: <http://www.ni.com/white-paper/3960/en/>
- [7] Elektromagnetické relé. Wikipedie, otevřená encyklopedie [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9\\_rel%C3%A9](https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_rel%C3%A9)
- [8] BILÍK, Petr. SMSD Přednáška 10. Ostrava. Prezentace k předmětu Systémy pro měření a sběr dat. VŠB - TU Ostrava.
- [9] PXI Express Chassis [online]. Austin, Texas, United States: National Instruments, 2019 [cit. 2019-01-21]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/product-flyers/pxi-express-chassis.pdf>
- [10] PXI Express Embedded Controllers [online]. Austin, Texas, United States: National Instruments, c2017 [cit. 2019-01-21]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/product-flyers/pxi-express-embedded-controllers.pdf>
- [11] PXI Remote Control and System Expansion [online]. Austin, Texas, United States: National Instruments, 2018 [cit. 2019-01-21]. Dostupné z: <http://www.ni.com/pdf/product-flyers/pxi-remote-control-and-system-expansion.pdf>

- [12] PXI Remote Control Module. A Global Leader in Automated Test and Automated Measurement Systems [online]. Austin, Texas, United States: National Instruments, c2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.ni.com/cs-cz/shop/select/pxi-remote-control-module>
- [13] What Is TestStand. A Global Leader in Automated Test and Automated Measurement Systems [online]. Austin, Texas, United States: National Instruments, c2019 [cit. 2019-01-22]. Dostupné z: <http://www.ni.com/cs-cz/shop/electronic-test-instrumentation/application-software-for-electronic-test-and-instrumentation-category/what-is-teststand.html>
- [14] NI TestStand Featured Examples. A Global Leader in Automated Test and Automated Measurement Systems [online]. Austin, Texas, United States: National Instruments, c2019 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <http://www.ni.com/example/14284/en/>
- [15] Switch Executive. A Global Leader in Automated Test and Automated Measurement Systems [online]. Austin, Texas, United States: National Instruments, c2019 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <http://www.ni.com/cs-cz/shop/select/switch-executive>
- [16] Using NI Switch Executive in NI TestStand. A Global Leader in Automated Test and Automated Measurement Systems [online]. Austin, Texas, United States: National Instruments, c2019, August 2015 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370404J-01/nise/teststand/>
- [17] What Is NI Switch Executive. A Global Leader in Automated Test and Automated Measurement Systems [online]. Austin, Texas, United States: National Instruments, c2019 [cit. 2019-01-22]. Dostupné z: <http://www.ni.com/white-paper/3724/en/>
- [18] How to Create Custom Switch Topologies with National Instruments Switch Executive. A Global Leader in Automated Test and Automated Measurement Systems [online]. Austin, Texas, United States: National Instruments, c2019 [cit. 2019-04-18]. Dostupné z: <http://www.ni.com/tutorial/3446/en/>
- [19] PALACKÝ, Petr. Číslicová a mikroprocesorová technika, část první. Ostrava, 2012. Studijní materiály pro studijní obor měřicí a řídicí technika fakulty elektrotechniky a informatiky. VŠB – Technická univerzita Ostrava.
- [20] SNx4HC595 8-Bit Shift Registers With 3-State Output Registers [online]. Dallas, Texas 75265: Texas Instruments Incorporated, 2018 [cit. 2018-11-02]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc595.pdf>
- [21] CHLEBIŠ, Petr. Výkonová elektronika I [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008] [cit. 2018-11-03]. ISBN isbn978-80-248-1485-8. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FEI/VE1/Polovodicove%20soucastky.pdf>

- [22] PAVELEK, Tomáš a Václav SLÁDEČEK. Výkonová elektronika KE [online]. Ostrava, 2005 [cit. 2018-11-03]. Dostupné z: [http://homen.vsb.cz/~hav278/Vykonove\\_polovodicove\\_systemy\\_I/Studijni\\_opory/Vykonova\\_elektronika.pdf](http://homen.vsb.cz/~hav278/Vykonove_polovodicove_systemy_I/Studijni_opory/Vykonova_elektronika.pdf). Učební texty pro kombinované a distanční studium. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [23] BEZSTAROSTI, Jiří. Tranzistor po lopatě. RoboDoupě web nejen o robotice [online]. Praha: RoboDoupě – web nejen o robotice, 2016, 6.6.2016 [cit. 2018-11-03]. Dostupné z: <http://robodoupe.cz/2016/tranzistor-po-lopate-vykonove-tranzistory/>
- [24] ULN2801A, ULN2802A, ULN2803A, ULN2804A Eight Darlington array [online]. Geneva, Switzerland: STMicroelectronics, 2012 [cit. 2018-11-03]. Dostupné z: [http://www.farnell.com/datasheets/1690352.pdf?\\_ga=2.215134103.1809177593.1541240204-1581472669.1529569607](http://www.farnell.com/datasheets/1690352.pdf?_ga=2.215134103.1809177593.1541240204-1581472669.1529569607)
- [25] Reed relay S1A050000. GM electronic [online]. Praha: GM electronic, 1990, 2002 [cit. 2018-11-03]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.634-033.1.pdf>
- [26] ČOŽÍK, Ondřej. Použití blokových kondenzátorů při návrhu DPS. Slaboproudý obzor [online]. 2013, 69(3), 8 [cit. 2018-11-04]. Dostupné z: <http://www.slaboproudyobzor.cz/files/20130308.pdf>
- [27] Proudová zatížitelnost vodiče. Prago Board [online]. Praha: PragoBoard, 2012 [cit. 2018-11-09]. Dostupné z: [https://pragoboard.cz/proudova\\_zatizitelnost?fbclid=IwAR2jQRg401b344t27IliwXpPGvNosaMzF1KaOSWvcSs10xjPZGjsqHbhH4g](https://pragoboard.cz/proudova_zatizitelnost?fbclid=IwAR2jQRg401b344t27IliwXpPGvNosaMzF1KaOSWvcSs10xjPZGjsqHbhH4g)
- [28] File:Desktop-PC.svg - Wikimedia Commons. Wikimedia Commons [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001, 3 November 2014 [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Desktop-PC.svg>
- [29] PRŮCHA, Tomáš. NE555: Astabilní KO. SPŠ-SE Underground [online]. České Budějovice: Průcha, c2007-2018 [cit. 2019-01-12]. Dostupné z: <http://sps-se.kvalitne.cz/PRA/NE555%20-%20Wiki.pdf>
- [30] PXI Systems. A Global Leader in Automated Test and Automated Measurement Systems [online]. Austin, Texas, United States: National Instruments, c2019 [cit. 2019-01-21]. Dostupné z: <http://www.ni.com/content/ni/locales/cs-cz/shop/pxi.html>
- [31] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK, Martin VLACH a Viktorie VLACHOVÁ. Začínáme s LabVIEW. Praha: BEN - technická literatura, 2008, 248 s. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [32] BRESS, Thomas J. Effective LabVIEW programming. Allendale: National Technology & Science Press, c2013. ISBN 978-1-934891-08-7.

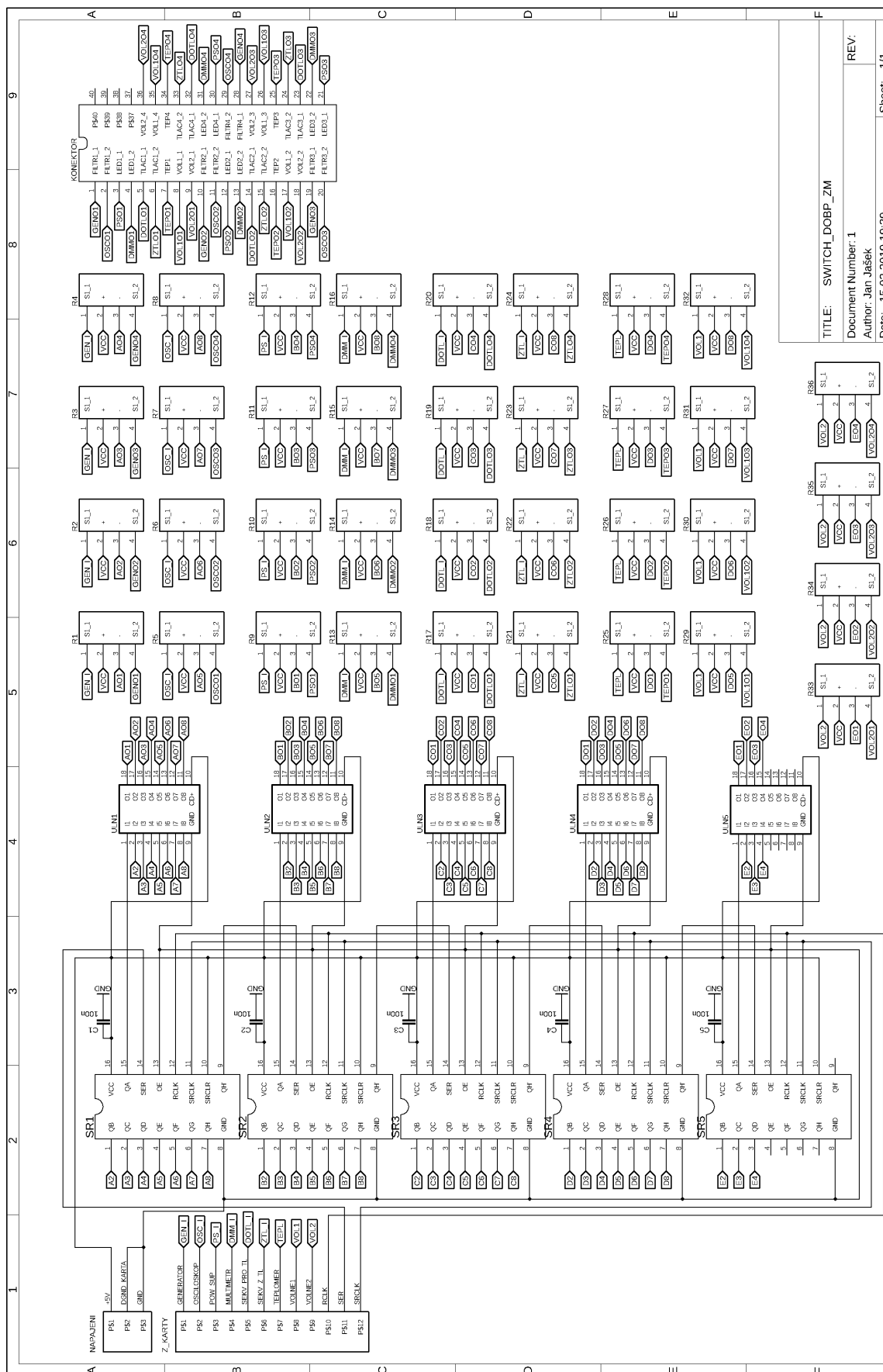


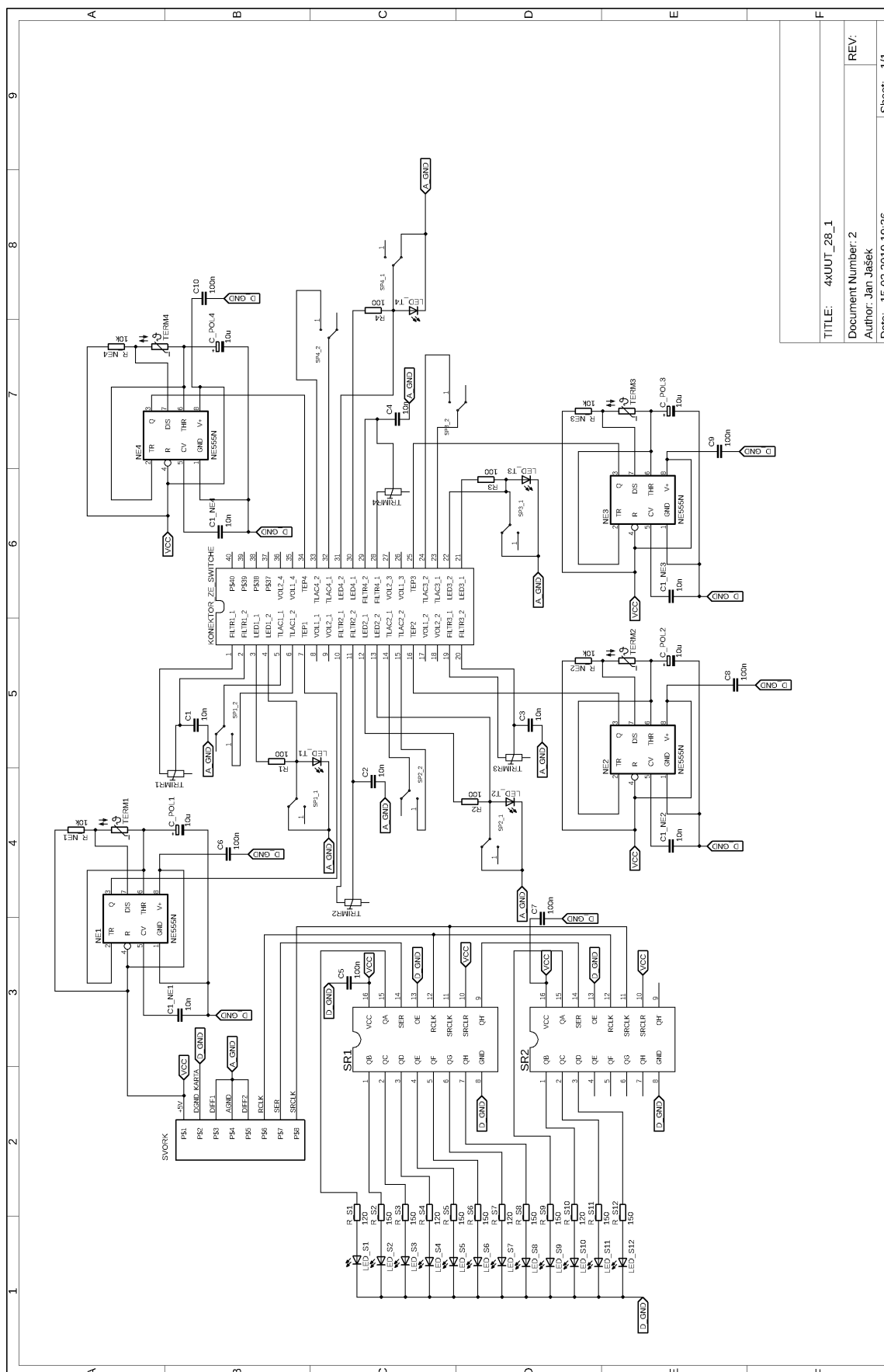
- [33] WITTASSEK, Tomáš. VIRTUÁLNÍ INSTRUMENTACE I. Ostrava, 2012. Studijní materiály pro studijní obor měřicí a řídicí technika fakulty elektrotechniky a informatiky. VŠB - TU Ostrava.
- [34] Solid State Relay. Basic Electronics Tutorials and Revision [online]. Portland: AspenCore, c2019 [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://www.electronics-tutorials.ws/power/solid-state-relay.html>
- [35] PhotoMOS Relays. Panasonic Electric Works Europe AG | Panasonic [online]. Otobrunn, Germany: Panasonic Electric Works Europe, c2018 [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: [https://www.panasonic-electric-works.com/cps/rde/xbcr/pew\\_eu\\_en/dd\\_x615\\_en\\_an\\_028.pdf](https://www.panasonic-electric-works.com/cps/rde/xbcr/pew_eu_en/dd_x615_en_an_028.pdf)
- [36] Technology. IXYS Corporation: IXYS Power [online]. Milpitas, California, United States: IXYS Corporation, c2019, 2019 [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: <https://ixapps.ixys.com/family.aspx?i=116>
- [37] NI LabVIEW Academy - National Instruments Česká Republika a Slovensko. A Global Leader in Automated Test and Automated Measurement Systems [online]. Austin, Texas, United States: National Instruments, c2019 [cit. 2019-03-13]. Dostupné z: <http://czech.ni.com/akademicka-oblast/labview>

## A    **Obrazové přílohy**

Příloha obsahuje schémata zapojení přepínače, 4xUUT a obrázek konektoru s popisem pinů.

Obrázek I: Schéma zapojení přepínače	71
Obrázek II: Schéma zapojení 4xUUT	72
Obrázek III: Konektor s popisem pinů	73





Obrázek II: Schéma zapojení 4xUUT

11	15	19	23	27	31	35	4	8	12	16	20	24	28	32	36	X	X	X	X
7	3	34	30	26	22	18	14	10	6	2	33	29	25	21	17				1

1. MODUL1 - Generátor signálu
5. MODUL1 - Osciloskop
9. MODUL1 - Napájecí zdroj
13. MODUL1 - Digitální multimetr
17. MODUL1 - Signál do BERT
21. MODUL1 - Signál z BERT
25. MODUL1 - Signál z převodníku teplota/f
29. NEZAPOJENO (K DISPOZICI)
33. NEZAPOJENO (K DISPOZICI)

3. MODUL3 - Generátor signálu
7. MODUL3 - Osciloskop
11. MODUL3 - Napájecí zdroj
15. MODUL3 - Digitální multimetr
19. MODUL3 - Signál do BERT
23. MODUL3 - Signál z BERT
27. MODUL3 - Signál z převodníku teplota/f
31. NEZAPOJENO (K DISPOZICI)
35. NEZAPOJENO (K DISPOZICI)

2. MODUL2 - Generátor signálu
6. MODUL2 - Osciloskop
10. MODUL2 - Napájecí zdroj
14. MODUL2 - Digitální multimetr
18. MODUL2 - Signál do BERT
22. MODUL2 - Signál z BERT
26. MODUL2 - Signál z převodníku teplota/f
30. NEZAPOJENO (K DISPOZICI)
34. NEZAPOJENO (K DISPOZICI)

4. MODUL4 - Generátor signálu
8. MODUL4 - Osciloskop
12. MODUL4 - Napájecí zdroj
16. MODUL4 - Digitální multimetr
20. MODUL4 - Signál do BERT
24. MODUL4 - Signál z BERT
28. MODUL4 - Signál z převodníku teplota/f
32. NEZAPOJENO (K DISPOZICI)
36. NEZAPOJENO (K DISPOZICI)

- X. NEZAPOJENO (NENÍ K DISPOZICI)
- X. NEZAPOJENO (NENÍ K DISPOZICI)
- X. NEZAPOJENO (NENÍ K DISPOZICI)
- X. NEZAPOJENO (NENÍ K DISPOZICI)

ČÍSLA NA JEDNOTLIVÝCH PINECH  
ODPOVÍDAJÍ OZNAČENÍ RELÁTEK V  
APLIKACI PRO OVLÁDÁNÍ SAMOTNÉHO  
PŘEPÍNAČE.

Obrázek III: Konektor 2x20 pinů pro propojení DPS přepínače a DPS 4xUUT. Pohled zepředu

## B Tabulky

Příloha obsahuje tabulky součástek použitých pro realizaci multiplexerového přepínače, pro realizaci 4xUUT a pro spojení těchto dvou přípravků.

Tabulka I: Součástky pro realizaci přepínače	75
Tabulka II: Komponenty pro spojení desky přepínače s deskou 4xUUT	75
Tabulka III: Součástky pro realizaci 4xUUT	76

Tabulka I: Součástky přepínač

OZNAČENÍ	SOUČÁSTKA	HODNOTA	KÓD	PRODEJCE	POČET
Z_KARTY	Svorkovnice do PCB přímá RM 5,08 mm	3 kontakty	GES06600622	GES	4ks
NAPAJENÍ	Svorkovnice do PCB přímá RM 5,08 mm	3 kontakty	GES06600622	GES	1ks
SR1 - SR5	Posuvný registr 74HC595 DIP16	-	425-118	GME	5ks
ULN1 - ULN5	Tranzistorové pole ULN2803A DIP18	-	380-008	GME	5ks
R1 - R36	Jazýčkové relé COSMO RELES1A 050 000	-	634-033	GME	36ks
KONEKTOR	Konektor MLW40A rozteč 2,54mm	2x20 kontaktů	800-072	GME	1ks
C1 - C5	Keramický kondenzátor RM 2,54mm	100n/50V	J461	HADEX	5ks

Tabulka II: Komponenty pro spojení desky přepínače a desky 4xUUT

OZNAČENÍ	SOUČÁSTKA	HODNOTA	KÓD	PRODEJCE	POČET
-	Distanční sloupek	M3X20	623-205	GME	6ks
-	Matice	M3	662-001	GME	6ks
-	Plochá podložka	Vnitřní pr. 3,2mm Vnější pr. 6,8mm	662-002	GME	12ks
-	Šroub s půlkulatou hlavou	M3x10mm	662-006	GME	6ks
-	Konektor pro ploché kabely rozteč 2,54mm	2x20 kontaktů	800-013	GME	2ks
-	Kabel plochý RM: 1,27mm Průřez (0,081mm <sup>2</sup> )	40 žil	650-095	GME	5cm

Tabulka III: Součástky 4xUUT

OZNAČENÍ	SOUČÁSTKA	HODNOTA	KÓD	PRODEJCE	POČET
SVORK	Svorkovnice do PCB přímá RM 5,08 mm	3 kontakty	GES06600622	GES	2ks
SVORK	Svorkovnice do PCB přímá RM 5,08 mm	2 kontakty	GES06600621	GES	1ks
R_S2, R_S3, R_S5, R_S6 R_S8, R_S9, R_S11, R_S12	Metalizovaný rezistor RM 150R 0207 0,6W 1%	150Ω	110-053	GME	8ks
R_S1, R_S4, R_S7, R_S10	Metalizovaný rezistor RM 120R 0207 0,6W 1%	120Ω	110-051	GME	4ks
R1, R2, R3, R4	Metalizovaný rezistor RM 100R 0207 0,6W 1%	100Ω	110-049	GME	4ks
SR1, SR2	Posuvný registr 74HC595 DIP16	-	425-118	GME	2ks
LED_T1 - LED_T4, LED_S3 LED_S6, LED_S9, LED_S12	LED 5MM RED 600/60°	ČERVENÁ	518-312	GME	8ks
LED_S2, LED_S5, LED_S8 LED_S11	LED 5MM YELLOW 780/60°	ŽLUTÁ	518-267	GME	4ks
LED_S1, LED_S4, LED_S7 LED_S10	LED 5MM GREEN 1700/60°	ZELENÁ	518-311	GME	4ks
R_NE1 - R_NE4	Metalizovaný rezistor RM 10k 0207 0,6W 1%	10kΩ	110-097	GME	4ks
TERM1 - TERM4	Termistor NTC	10kΩ	118-010	GME	4ks
C_POL1 - C_POL4	Elektrolytický kondenzátor 5x11 RM2,5	10μ/63V	123-483	GME	4ks
C1_NE1 - C1_NE4 C1 - C4	Keramikový kondenzátor RM2,54	10n/100V	120-071	GME	8ks
C5 - C10	Keramikový kondenzátor RM 2,54mm	100n/50V	J461	HADEX	6ks
NE1 - NE4	NE555 DIP8	-	312-003	GME	4ks
SP1_1, SP1_2, SP2_1, SP2_2 SP3_1, SP3_2, SP4_1, SP4_2	Posuvný spínač	-	631-263	GME	8ks
KONEKTOR_ZE_SWITCHE	Konektor MLW40A rozteč 2,54mm	2x20 kontaktů	800-072	GME	1ks
TRIMR1 - TRIMR4	Uhlíkový trimr	100kΩ	112-991	GME	4ks
-	Manipulační kolečko pro trimr	-	624-171	GME	4ks



## C Přílohy na DVD

DVD přiložené k této bakalářské práci obsahuje:

- LabVIEW projekt "Parallel\_testing\_BP" obsahující veškerá VI potřebná k provádění testování.
- LabVIEW projekt "Multiplexer\_SWITCH\_BP" obsahující veškerá VI potřebná k ovládání přepínače.
- Aplikaci "Parallel testing" pro provádění testování ve formátu .exe.
- Aplikaci "Multiplexer SWITCH" pro ovládání přepínače ve formátu .exe.
- Data pro výrobu DPS přepínače.
- Data pro výrobu DPS 4xUUT.